INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 289 II d.d. 15 januari 1965

NN31545.0289

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Een onderzoek naar de gedragingen van het diepe grondwater in de omgeving van het Beneluxtunnelproject op de noordelijke oever van de Maas

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.
Aan gebruikers buiten het Instituut wordt verzocht ze niet in publikaties te vermelden.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

1783099

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0917 8613

11 FEB. 1998

I. PROBLEEMSTELLING

Inleiding en doelstelling

In de omgeving van Schiedam en Pernis worden ter weerszijden van de Maas een aantal waterstaatkundige werken uitgevoerd waarvoor het noodzakelijk is de waterstand ter plaatse van het werk tijdelijk te verlagen.

Op de noordelijke en zuidelijke oever betreft dit het in bouwputten vervaardigen van de op- en afritten van de Beneluxtunnel. Op de zuidelijke oever bovendien nog het bouwen in een bouwput van de tunnelmoten en op de noordelijke oever de bouw van een dok van de scheepswerf Wilton-Feyenoord.

De met deze werken gepaard gaande ingrepen in de hydrologische situatie in een gecompliceerd gebied hebben de vraag doen rijzen of het mogelijk is de waterhuishoudkundige toestand met behulp van enkele basisreeksen van stijghoogten empirisch te beschrijven en vast te leggen.

In deze nota zal worden aangegeven op welke wijze een empirische behandeling kan worden opgezet terwijl ook de nauwkeurigheid van de resultaten zal worden besproken.

Het doel dat men zich kan stellen is de invloeden van de natuurlijke of reeds bestaande factoren die de stijghoogten van het grondwater beheersen te scheiden van de invloed van het afmalen van de bouwputten. Hiertoe is het noodzakelijk dat het effect van de reeds optredende factoren kan worden voorspeld, met andere woorden dat de effecten van eb en vloed, van neerslag en verdamping van eventuele industriële wateronttrekkingen kwantitatief worden vastgelegd.

Is dit in een voldoend nauwkeurige mate mogelijk, dan kan de tijdens het afmalen werkelijk gemeten waterstand afgetrokken worden van de op grond van de bestaande factoren berekende stand. Het verschil tussen beide standen levert dan het afmalingseffect.

Het afmalingseffect op deze wijze gedefinieerd komt dus overeen met het rekenkundig verschil tussen berekende en gemeten waterstand. Ook echter in de afgemalen toestand, zullen de natuurlijke en overige genoemde, reeds aanwezige, factoren hun invloeden doen blijven gelden. De analyse kan dus verder worden voortgezet door ook bij bemalen bouwputten de invloed van natuurlijke en reeds bestaande kunstmatige factoren vast te stellen. Door deze op de gemeten standen in mindering te brengen kan een zuiver afmalingseffect worden berekend.

Beide bewerkingen, te weten het voorspellen van een waterstand en het op

bekende effecten zuiveren van een gemeten waterstand kunnen slechts met een beperkte nauwkeurigheid worden uitgevoerd. In het bijzonder aan de randgebieden van de afmalingstrechter waar het effect van de afmaling zou kunnen worden omstreden, is het van belang na te gaan welke waterstandsdaling nog uit toevallige verschillen verklaard kan worden en welke daling aan systematische afwijkingen, dat wil zeggen afmaling toegeschreven moet worden.

De stijghoogten zijn gemeten in buizen waarvan het filter gemiddeld ligt op een diepte van 22 m - N.A.P. De invloed van de filterdiepte op de genoemde verschijnselen is buiten beschouwing gebleven.

Aan een algemene uitwerking van het gestelde probleem dient een beschouwing vooraf te gaan welke factoren invloed op de hydrologische situatie ter plaatse uitoefenen. Een beknopt overzicht volgt hieronder.

Algemene omschrijving

Gelegen aan de Maas die in open verbinding staat met de Noordzee ondervindt het gebied de invloed van de getijdebeweging. Deze getijdebeweging kan in formules uitgedrukt en daarmee berekend en voorspeld worden. Een storend effect vormt echter de invloed van opwaaiing of afwaaiing waardoor het gemiddelde niveau waarop het getij zich manifesteert verandert en ook de toppen en dalen van de beweging een andere waarde aannemen dan werd berekend.

Het getij is gesuperponeerd op de gemiddelde rivierstand, zodat over langere of kortere tijd het gehele niveau hoger of lager kan komen te liggen al naar gelang de rivier meer of minder water tot afvoer brengt. De gemiddelde rivierstand is reeds een moeilijker vast te leggen en te voorspellen grootheid. Dat de verschillen groot kunnen zijn volgt bijvoorbeeld uit gegevens van Rijkswaterstaat over 1963. De half tij-standen op de Maas vertoonden waarden die lagen tussen 0.30 - N.A.P. en 0.50 + N.A.P. met extreme waarden van 0.95 - N.A.P. en ruim 1 meter boven N.A.P.

Speciaal in het landbouw-areaal speelt de klimatologische situatie een rol, waar neerslag en verdamping rechtstreeks hun invloed op de waterhuishouding doen gelden. Deze grootheden zijn wel in frequenties van overschrijdingen van gegeven hoeveelheden weer te geven. Verwachtingen omtrent het voorkomen van gemiddelde of meer extreme waarden kunnen worden uitgedrukt in kanspercentages. Omtrent het juiste verloop van neerslagtekorten en - overschotten in een of meer dagen valt echter niets te zeggen.

In de stedelijke bebouwing komen plaatselijke effecten voor zoals wateronttrekking voor industriële doeleinden die al naar omvang en type van het bedrijf zullen verschillen. De invloed van elk afzonderlijk onttrekkingspunt is mogelijk regionaal beperkt maar op vele plaatsen kunnen deze onttrekkingen worden verwacht. Exacte gegevens ontbreken ook hier zodat ook voor deze ingrepen in de waterhuishoudkundige toestand een empirische benadering van het gestelde doel het meest voor de hand ligt.

Een empirische behandeling kan plaatsvinden door voor elk van de belangrijkste van invloed zijnde factoren een peilbuis aan te wijzen waarvan de stijghoogten een voor die factor karakteristiek verloop hebben. Nagegaan kan dan worden in welke mate elk willekeurig meetpunt van stijghoogten in het gebied de bewegingen in de standaardreeksen volgen Waarmee dan tevens de grootte van de invloed van elke factor is vastgelegd.

Zo kan de rivierstand zelf als basisreeks dienen om na te gaan met welke vertraging en welke demping de waterstandsbeweging in het gebied plaatsvindt. Evenzo kan een peilbuis die onder invloed staat van sterk plaatselijke effecten, zoals afpomping ten behoeve van de industrie, als basisreeks worden gebruikt om na te gaan in hoeverre in andere peilbuizen soortgelijke invloeden optreden. Tenslotte kan een peilbuis die buiten de genoemde invloedssferen is geplaatst dienen om klimatologische effecten te representeren.

Een complicatie kan zich al dadelijk voordoen wanneer blijkt dat een van de basisreeksen tot stand is gekomen onder invloed van meer effecten tegelijk. Dit kan het geval zijn met een reeks stijghoogten die de plaatselijke invloeden vertegenwoordigt maar tevens onder invloed staat van de getijbeweging. Om nu voor elk willekeurig meetpunt het werkelijk 'plaatseffect' te kunnen vastleggen moet de basisreeks voor het plaatseffect eerst gezuiverd worden op riviereffect. Aan dit probleem zal in het volgende ook de nodige aandacht worden gegeven.

Naarmate het door de getijdebeweging doorstroomde profiel van de oevers verandert tengevolge van veranderingen in gemiddeld rivierpeil kunnen andere uitkomsten van de empirische bewerking verwacht worden. De gehele berekening zou in feite voor verschillende niveau's moeten worden herhaald. Gegevens die deze berekening mogelijk maken zijn echter nog niet beschikbaar. In deze nota kan dan ook alleen de gang van de bewerking worden aangegeven voor een 3-daagse periode van meting waarbij het gemiddelde rivierpeil omstreeks het N.A.P.-nulvlak lag. Wel ligt het in de bedoeling bij volledige afmaling van de bouwputten een soortgelijke meting uit te voeren teneinde de invloed van de bronbemaling nader te

kunnen onderzoeken.

Van de te verrichten berekeningen is thans een programma voor een I.B.M.-1620 computer beschikbaar. Nieuwe reeksen gegevens kunnen hiermede op betrekkelijk eenvoudige wijze worden doorgerekend voor het geval dat van twee basisreeksen wordt uitgegaan. De uit te voeren berekeningen hebben op zichzelf genomen een eenvoudig karakter doch moeten vaak herhaald worden speciaal voor het vastleggen van de faseverschuiving zoals nog nader zal worden uiteengezet.

Het uiteindelijk resultaat van de berekeningen levert formule's op waarmee de stijghoogten in een willekeurige peilbuis berekend kunnen worden indien die van de basisreeksen bekend zijn.

De reconstructie van waterstanden

In het werkgebied en in een ruime omgeving daaromheen zijn enkele raaien grondwaterstandsbuizen geplaatst nog voordat tot afmaling van de respectieve bouwputten werd overgegaan. Hierdoor was het mogelijk de oorspronkelijke hydrologische situatie in stijghoogten van het diepe grondwater op te meten, hetgeen in oktober 1962 gedetailleerd plaatsvond.

Het vastleggen van de hydrologische situatie kan worden uitgevoerd door na te gaan welk verband er bestaat tussen elke peilbuis in het bemalingsgebied en een, liefst zo klein mogelijk, aantal meetpunten die later niet onder bemalingsinvloed komen te staan door hun grote afstand tot de bouwput.

Moet noodzakelijkerwijs gebruik worden gemaakt van meetpunten die later wel in het bemalingsgebied komen te liggen dan moet van deze meetpunten nauwkeurig worden vastgesteld welk effect, met name dus welke verlaging, door de bronbemaling is bewerkstelligd.

Voor deze tweede oplossing leent zich het beste het gebruik van een standaard-peilbuis waarin de stijghoogten zelfregistrerend worden opgenomen. Op de noordelijke oever is eerst op 22 juni 1963 begonnen met zelfregistrerende waarnemingen te verrichten. De hieruit verkregen gegevens konden dus niet met de metingen van oktober 1962 in verband worden gebracht.

Voor het onderhavige geval is toch aan het tweede type oplossing gedacht. Het bleek namelijk niet mogelijk de stijghoogten uit een willekeurige peilbuis te bepalen uit meetpunten buiten het bemalingsgebied daar hiervoor de gegevens ontbraken.

In het volgende zal worden aangegeven op welke wijze de oorspronkelijke hydrologische situatie met gegevens uit twee vaste meetpunten kon worden vastgelegd, te weten de rivierstand en de standen uit peilbuis 16 (fig. 1).

II. DE WATERSTANDSMETINGEN VAN OKTOBER 1962

In figuur 1 is de ligging van de meetpunten op de noordelijke Maasoever waarin de metingen werden verricht, schematisch weergegeven. Tegelijk met de grondwaterstanden werd de waterstand op de rivier gemeten.

De waterstanden op de rivier staan onder invloed van de getijbeweging. In het watervoerend pakket zijdelings van de rivier wordt deze beweging vertraagd en gedempt voortgeplant. Uit de mate van vertraging en demping kunnen conclusies worden getrokken over de formatieconstanten van het watervoerend pakket. Het is dus van belang bij de waterstandsmetingen zowel de stijghoogte (voor het vaststellen van de demping) als het tijdstip van de meting (voor het vaststellen van de fasevertraging) nauwkeurig vast te leggen.

Onder auspiciën van Rijkswaterstaat werden van dinsdag 9 oktober 1962 te 7.00 uur tot vrijdag 12 oktober te 7.00 uur op het hele uur, in sommige peilbuizen bovendien op het halve uur, de waterstanden gemeten. De standen van de rivier werden van registratiestroken afgelezen. De metingen begonnen tijdens een laagwater en beslaan in totaal zes volledige getijbewegingen.

Bij de gevolgde methode, namelijk het numeriek bewerken van het cijfermateriaal, is het vereist dat de metingen in de verschillende meetpunten, onderling steeds op precies dezelfde tijdstippen worden uitgevoerd.

Om organisatorische redenen kon hieraan niet in alle gevallen worden voldaan. Voor de bewerking kan worden aangenomen dat de afwijkingen die hierdoor ontstaan van ondergeschikte betekenis zullen zijn.

De peilfilters waren geplaatst op een diepte groter dan 14 à 18 meter doch boven 28 m-N.A.P. en wel zodanig dat het filter in de grovere zandlagen kon worden aangebracht. Dit betekent dat langs de rivier over het algemeen een geringere filterdiepte werd toegepast dan verder er vandaan (fig. 2).

De algemene gedaante van de tijdstijghoogtelijnen

Alvorens tot een interpretatie van de meetuitkomsten over te gaan dient te worden nagegaan aan welke invloeden de waterstanden onderhevig zijn, en welke meetpunten voor het vastleggen van deze invloeden in aanmerking komen. Hierna kan de mogelijkheid worden onderzocht de verschillende invloeden uit de gegevens te elimineren.

G e t ij b e w e g i n g

De getijbeweging, welke op de rivier zijn afspiegeling vindt, wordt gekarakteriseerd door een amplitude en een golflengte. Deze getijbeweging zal zich ook in het bodemprofiel met dezelfde golflengte maar gedempt en vertraagd voortzetten en afwijkingen ten opzichte van een gemiddeld niveau veroorzaken. Als vergelijkingsbasis is de waterstandsbeweging op de rivier aangehouden. Het effect van de rivierstanden op de stijghoogten in de meetpunten is aangeduid met de term 'riviereffect'.

P l a a t s e l ij k e - e f f e c t e n

De industrieën gevestigd op de noordelijke oever ontlenen water aan het watervoerend pakket als gebruikswater voor het bedrijf. Deze onttrekking is mede van invloed op de waterstanden in het beschouwde gebied.

De tijdstippen waarop en de mate waarin wateronttrekking plaatsvindt zijn niet bekend en zullen van bedrijf tot bedrijf verschillen. Aangenomen kan worden dat onttrekkingen voorkomen die van maandag tot vrijdag tamelijk continue zijn, in andere gevallen zal wellicht alleen overdag water worden opgepompt.

In het gecompliceerde gebied van onderzoek zullen mogelijk nog andere niet zonder meer te analyseren invloeden zich doen gelden. Als vergelijkingsbasis voor de overige peilbuizen is peilbuis 16 gekozen, waarvan aangenomen kon worden dat deze de verschillende plaatseffecten goed representeert, (fig. 3).

De genoemde effecten zijn aangeduid met de term 'plaatseffect'.

K l i m a a t s i n v l o e d e n, h y d r o l o g i s c h e i n v l o e d e n

Tengevolge van andere invloeden, buiten het gebied van onderzoek kunnen eveneens veranderingen in stijghoogten optreden. Gedacht kan bijvoorbeeld worden aan invloeden van klimatologische aard en aan beïnvloeding door polderbemalingen. Deze invloeden kunnen worden beschreven met waterstandsfluctuaties in een waterstandsbuis die wel onder deze doch niet onder de afmalingsinvloed staan. Het voor dit doel geschikte 3-tal buizen op ongeveer 3,5 en 5 km uit het centrum, waarvan in figuur 1 alleen de dichtstbijzijnde staat aangegeven, zijn slechts eenmaal per maand opgemeten en wel steeds op de eerste dag van de maand, zodat over de periode van 9 - 12 oktober slechts met een lineair verloop in waterstand door lineaire interpolatie verkregen, rekening zou kunnen worden gehouden. Een dergelijk lineair verloop kan echter ook in de berekening worden

opgenomen zonder kennis van het niveau van de stijghoogten. Hiermede wordt dus geen zinvolle interpretatie mogelijkheid aan de bewerking toegevoegd zodat hiervoor geen aparte component in het onderzoek is opgenomen.

Met gegevens die een langere tijdsduur bestrijken zal het noodzakelijk zijn een aparte basisreeks voor deze effecten in de berekening op te nemen.

Enkele voorbeelden van gemeten tijdstijghoogtelijnen

De in de 21 meetpunten gemeten tijdstijghoogtelijnen kunnen in een aantal typen worden onderscheiden. Van de belangrijkste hiervan zal een voorbeeld worden gegeven.

Op de rivier (fig. 3) valt duidelijk de invloed van het getij waar te nemen, zodanig dat ook het enkeldaags tij hier goed tot uiting komt. De hoogwaterstanden die 's ochtends optreden zijn hoger dan die welke 's middags voorkomen, welk verschil 20 tot 30 cm heeft bedragen.

In figuur 3 staan tevens de gegevens ingeschetst van drie waterstandsbuizen op verschillende afstand van de rivier namelijk meetpunt nr.A, nr.16 en nr.8. Duidelijk valt hier de demping van de amplitude en de toenemende naijling bij groter wordende afstand waar te nemen.

Op afstanden van de rivier groter dan 1700 meter blijken de tijdstijghoogtelijnen nog slechts één top per dag te hebben (fig. 4), doch vele overgangen komen voor zoals uit figuur 5 blijkt. De hoogwatertop die omstreeks het middaguur optreedt wordt steeds vlakker om tenslotte geheel te verdwijnen (peilbuizen 7, 9 en 6).

In deze figuur valt ook een duidelijk onderscheid te maken naar tijdstijghoogtelijnen die tijdens de periode van meting sterk in niveau gedaald zijn (bijvoorbeeld nr. 2) en andere die praktisch op een constant niveau zijn gebleven (bijvoorbeeld nr. 6).

Ook peilbuis 16 vertoont deze niveaudaling (fig. 3) mede waardoor deze buis als vergelijkingspunt zeer geschikt is, daar aangenomen kan worden dat deze alle plaatselijke effecten representeert.

Het gemiddelde niveau respectievelijk de niveaudaling tijdens de periode van meting staan weergegeven in de figuren 6 en 7. Het blijkt dat het gemiddelde niveau van stijghoogten in het noordoostelijk deel van het gebied het laagst heeft gelegen. In deze richting vond ten tijde van de waarnemingen nog een verdere daling plaats met het zwaartepunt rondom Schiedam (fig. 7).

In een aantal meetpunten werd tevens de stand van het bovenwater gepeild. Deze gegevens werden niet in de numerieke bewerking betrokken.

II. AFLEIDING VAN FORMULES

Schematisering van de tijdstijghoogtelijnen

De getijbeweging op de rivier (R) kan schematisch worden voorgesteld door de sinusfunctie

$$Y_R = B_R + A_R \sin nt \qquad (1)$$

De stijghoogten van het diepe grondwater in een willekeurige meetpunt W hebben dan tot vergelijking

$$Y_W = B_W + A_W \sin \{n(t - t_W)\} \qquad (2)$$

Hierin stellen achtereenvolgens voor

- Y de stijghoogte gerekend ten opzichte van N.A.P.
- B de gemiddelde (halftij-)stand ten opzichte van N.A.P.
- A de amplitude (halve verschil tussen dal en top)
- n de frequentie van de golfbeweging
- t de tijd
- t_W de fasevertraging ten opzichte van de rivier ($t_W > 0$)

Er geldt

$$n = \frac{2\pi}{T}, \qquad T = \text{trillingstijd}$$

Stijghoogten en amplituden zijn uitgedrukt in cm, tijden in uren. De trillingstijd voor de rivierstanden, bepaald aan 6 golflengten gemeten tijdens de opmetingen van oktober 1962, bedroeg T = 12.6 u

Deze tijdsduur komt goed overeen met de getijde duur volgens de getijde tafels.

In het bijzonder is nog

$$Y_W = B_W \qquad \text{als} \qquad t = t_W$$

De invloed van de afstand tot de rivier

De gegeven schematische voorstellingen (1) en (2) kunnen ook nog in hun onderlinge samenhang worden beschouwd. Daartoe kan ervan worden uitgegaan dat slechts de afstand tot de rivier van belang is, wanneer plaatselijke effecten geëlimineerd zijn.

Uitgaande van een horizontaal verlopend freatisch vlak ($B_R = B_W$) leidt STEGGEWENZ (1933) de volgende betrekkingen af voor de voortplanting van getijbewegingen in spanningsgrondwater

$$A_W = A_R \, e^{-ax} \tag{3}$$

waarin e^{-ax} de amplitudeverhouding S op afstand x voorstelt. Voorts is

$$t_W = \frac{\gamma}{n} x \tag{4}$$

waarin

x = afstand tot de rivier. Afstanden zullen worden uitgedrukt in m

a en γ zijn constanten

De volledige formule luidt nu dus

$$Y_W = B_R + A_R \, e^{-ax} \sin \{n(t - \frac{\gamma}{n} x)\}$$

Bij verwaarlozing van de samendrukbaarheid van het watervoerend pakket en het zich daarin bevindende water kunnen de volgende betrekkingen tussen de parameters a en γ en de hydrologische constanten worden afgeleid (STEGGEWENZ, 1933)

$$\frac{(a^2 + \gamma^2)^2}{2a\gamma} = \frac{n\mu}{kD} \tag{5}$$

$$\frac{a^2 - \gamma^2}{2a\gamma} = \mu c n \tag{6}$$

waarin

k doorlaatcoëfficiënt in horizontale richting

D dikte van het doorstroomde pakket

kD horizontaal geleidingsvermogen van de watervoerende laag

c verticale weerstand

μ bergend vermogen van het afdekkend pakket

In het bijzonder is dus voor $\mu = 0$ de waarde van a en γ volgens (5) gelijk aan nul zodat

$$Y_W = B_R + A_R \sin nt$$

en de rivierstanden zonder demping en vertraging in de stijghoogten tot uiting komen.

Heeft het bergend vermogen in het afdekkend pakket een bepaalde van 0 verschillende waarde, dan zullen naijling en demping optreden. Is μ zeer groot dan is volgens (5) en (6) a groot en γ klein en is het effect dat er in het profiel langs de rivier sterke demping met een geringe naijling optreden.

Wordt de samendrukbaarheid van het watervoerende pakket en het zich daarin bevindende water in rekening gebracht, dan wordt verkregen (BOSCH, 1951)

$$a^2 - \gamma^2 = \frac{1}{kDc} \qquad (5a)$$

$$2a\gamma = \frac{sn}{kD} \qquad (6a)$$

waarin s de bergingsfactor voorstelt.

Numerieke bewerking

Nagegaan zal thans worden hoe de tijdstijghoogtelijn van een willekeurig meetpunt W kan worden berekend uit de waterstand op de rivier R en uit een vast meetpunt M.

Het eenvoudigste geval doet zich voor indien een meetpunt W alleen met de rivierstand wordt vergeleken. Het verschil in fase tussen rivier (1) en peilbuis (2) kan ongedaan worden gemaakt door de gegevens uit de willekeurige buis over een tijdsverloop t_w terug te schuiven. Stel dat door zulk een verschuiving,

de waarnemingsreeks Y'_W verkregen wordt dan is dus

$$Y'_W = B_W + A_W \sin nt \tag{7}$$

Nu kan sin nt uit (1) en (7) worden geëlimineerd en er ontstaat

$$\frac{Y'_W - B_W}{A_W} = \frac{Y_R - B_R}{A_R}$$

en dus

$$Y'_W = \frac{A_W}{A_R} Y_R - \frac{A_W}{A_R} B_R + B_W \tag{7a}$$

of, korter

$$Y'_W = S\, Y_R + Q \tag{8}$$

In deze lineaire betrekking is S de amplitudeverhouding en Q een constante. Met behulp van de methode van de kleinste kwadraten kunnen S en Q uit de waarnemingsreeksen Y'_W en Y_R worden bepaald (zie Appendix 2).

Worden de gemeten waarden van Y'_W en Y_R grafisch tegen elkaar uitgezet dan zullen de gegevens zich volgens (8) rond een rechte groeperen. De aansluiting rond deze rechte zal zo goed mogelijk zijn wanneer de juiste faseverschuiving t_W is toegepast. Dit 'zo-goed-mogelijk' kan numeriek met de correlatie-coëfficiënt (r) worden weergegeven. Proberenderwijs kunnen de reeksen gegevens ten opzichte van elkaar worden verschoven net zo lang tot een r met zo groot mogelijke waarde wordt gevonden. Aangenomen wordt dan dat alle systematische afwijkingen van de reeksen ten opzichte van elkaar zijn verantwoord.

Reeds werd uiteengezet dat behalve de rivierinvloed ook een zogenaamd plaatseffect P aanwezig kan zijn. Dit effect kan mede in rekening worden gebracht door de waarnemingsuitkomsten uit een meetpunt die onder deze invloeden heeft gestaan in de bewerking te betrekken.

Stel dit plaatseffect in symbolen voor door:

$$Y_P = B_P + A_P \sin \{n(t - t_p)\}$$

Opgemerkt wordt dat Y_P eveneens onder invloed van de rivierstand staat zodat het zuivere 'plaatseffect' wordt verkregen door het gedempte en vertraagde rivier-effect hierop in mindering te brengen, dus door te berekenen

$$Z' = Y'_P - S\ Y_R - Q$$

Hierin kunnen S en Q volgens (8) worden bepaald volgens de methode van de kleinste kwadraten echter uit gegevens van Y_P die niet door het plaatseffect worden verstoord. Daar aangenomen werd dat tijdelijke onregelmatigheden kunnen worden veroorzaakt door bronbemalingen van industrieën die overdag water oppompen, moeten in deze gevallen S en Q bepaald worden uit de gegevens zonder de overdag waargenomen standen te gebruiken, waarbij dus de gegevens Y_P weer zodanig dienen te worden verschoven tot Y'_P dat ze synchroon met de rivier lopen.

Nu kan de faseverschuiving weer ongedaan worden gemaakt zodat een reeks wordt verkregen die kan worden voorgesteld door het symbool

$$Z_P \qquad \text{(zuiver plaatseffect)}$$

De veronderstelling hierbij is dat het plaatseffect dat in het meetpunt P tot uiting komt zich op overeenkomstige wijze in andere meetpunten manifesteert. De invloed wordt geacht zeer plaatselijk te zijn doch op vele plaatsen te worden veroorzaakt. Faseverschillen met een meetpunt P zijn dus niet goed te interpreteren te meer waar het tijdstip waarop het plaatseffect zich gaat manifesteren onzeker is. Hieromtrent werd dan ook geen veronderstelling gemaakt en gezocht werd naar de beste wijze van samenhang tussen de gegevens.

Alles samenvattend kan nu voor een willekeurige peilbuis worden gesteld

$$Y'_W = b_1 Y_R + b_2 Z_P + b_0 \qquad (8a)$$

zodat de over een tijdsverloop t_w terug verschoven stijghoogten uit een willekeurig meetpunt wordt geschreven als een lineaire combinatie van de rivierstanden en het plaatseffect.

Keuze van de peilbuizen

Wat betreft de keuze van de 'verklarende' reeksen waterstandsgegevens kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

Het meetpunt van het rivierpeil is een zelfregistrerende meter van de hydrometrische Dienst van Rijkswaterstaat geplaatst bij de uitmonding van de Vlaardingervaart.

Als meetpunt voor het plaats(industrie-) effect werd een peilbuis gebruikt die om het half uur is waargenomen en waarvan kan worden vermoed dat deze de plaatselijke effecten goed weergeeft (nr.16). Wel ligt dit punt tamelijk dicht bij het centrum van de bronbemaling zodat wordt geëist dat van deze buis later nauwkeurig wordt nagegaan welke verlaging tengevolge van bemaling steeds is opgetreden, teneinde tot een goede reconstructie van de overige waterstanden te komen.

Wat de waterstanden in de peilbuizen betreft kan worden gezegd dat in deze over het algemeen ook de getijbeweging duidelijk te herkennen valt. De eerste gegevens uit elke reeks, vallend in een gedempt en vertraagd voorkomend laagwater, zijn veelal als 'aanloopstuk' wat onzeker daar de vorm van de curve ten tijde van dit laagwater niet volledig vastligt. Als uitgangspunt voor de numerieke bewerking van de waarnemingsreeksen is daarom de peiling van 13.00 uur op 9 oktober (hoogwater) gebruikt, terwijl in totaal 4,5 golflengten in de berekening werden opgenomen, zodanig dat het gemiddelde niveau overeenkomt met het gemiddelde van de gebruikte gegevens.

Dit betekent dat van de peilbuizen waarin elk uur een waarneming werd verricht 55 gegevens werden gebruikt. Teneinde vergelijkbare uitkomsten te verkrijgen werden van de groep buizen waarin om het half uur een waarneming werd verricht de gegevens om de ander in de bewerking opgenomen. Echter werden om de faseverschuiving zo nauwkeurig mogelijk te bepalen de waarnemingsreeksen onderling over een zo klein mogelijke tijdseenheid ten opzichte van elkaar verschoven dus over respectievelijk uren of halve uren.

Het verschil tussen twee sinuscurven

Het vaststellen van de grootte van een faseverschuiving kan worden uitgevoerd door na te gaan hoeveel de grafieken van twee stijghoogte-bewegingen ten opzichte van elkaar moeten worden verschoven om, nadat eerst door schaalverandering de amplituden aan elkaar gelijk gemaakt zijn, dalen en toppen tot samenvallen te brengen. Een numerieke bewerking laat het toepassen van verschuiving van

willekeurige tijdsduur niet toe.

De periodiek uitgevoerde waarnemingen, namelijk om het halve (1/2) of hele (1/1) uur, maken het slechts mogelijk de gegevens in de tijd met halve respectievelijk hele uren ten opzichte van elkaar te verschuiven. Kleinere verschuivingen zijn niet mogelijk en nagegaan moet worden welke verschillen tussen twee sinusoïden blijven bestaan indien niet tot volledige dekking van beide kan worden gekomen. Deze verschillen zullen dus minstens moeten worden geaccepteerd.

Voor een goniometrische behandeling van het verschil tussen twee sinuscurven is het voldoende slechts aan één sinusoïde een faseverschuiving in rekening te brengen als het tijdsverschil dat niet meer door verschuiving van de gegevens kan worden geëlimineerd.

Voor de rivier geldt dan

$$Y_R = A_R \sin t$$

en voor een willekeurige buis

$$Y_W = A_W \sin (t - a) + b$$

De stijghoogten uit de willekeurige buis W kunnen worden berekend uit de rivierstanden met behulp van de betrekking

$$\begin{aligned} \bar{Y}_W &= \beta Y_R + b \\ &= \beta A_R \sin t + b \\ &\approx A_W \sin t + b \qquad (9) \end{aligned}$$

waarin β de amplitudeverhouding is. In (9) komt een 'ongeveer gelijk' teken voor daar voor β niet de juiste waarde kan worden gevonden als niet de juiste faseverschuiving kan worden toegepast. Deze tekortkoming is echter geheel van ondergeschikte betekenis (zie Appendix 1)

Het verschil tussen gemeten (Y_W) en uit de rivierstanden afgeleide stijghoogten ($\bar{Y}_W$) bedraagt dus nog

$$\begin{aligned} Y_W - \bar{Y}_W &= A_W \sin (t - a) - A_W \sin t \\ &= A_W \sin t \cos a - A_W \cos t \sin a - A_W \sin t \\ &= - A_W (1 - \cos a) \sin t - A_W \sin a \cos t \end{aligned}$$

Nu wordt een hulphoek ϕ ingevoerd die voldoet aan de betrekking

$$\cos \phi = \frac{- A_W (1 - \cos a)}{\sqrt{A_W^2 (1 - \cos a)^2 + A_W^2 \sin^2 a)}}$$

waaruit na uitwerking volgt

$$\cos \phi = - \sin 1/2\, a \qquad \text{en} \qquad \sin \phi = \cos 1/2\, a$$

zodat

$$\cos \phi = \cos (1/2\, a + 90) \qquad \sin \phi = \sin (1/2\, a + 90)$$

waaruit dus volgt dat $\phi = 1/2\, a + 90$ en dus

$$Y_W - \bar{Y}_W = - 2\, A_W \sin (1/2\, a) \cos (t - 1/2\, a)$$

of voor het absolute verschil tussen gemeten en berekende stijghoogten

$$v = |Y_W - \bar{Y}_W| = |2\, A_W \sin (1/2\, a) \cos (t - 1/2\, a)| \qquad (10)$$

Een bijzonder geval is $a = 0$ (volledige dekking van beide tijdstijghoogtelijnen) zodat dan $v = 0$ voor elke A_W zoals wordt verwacht.

Voorts: $A_W = 0$ waarvoor dan geldt dat $v = 0$ voor elke a, hetgeen eveneens een te verwachten uitkomst is, daar de waterstand in de willekeurige buis nu constant ondersteld is.

Wordt gelet op het maximaal mogelijke verschil v_m tussen twee sinusoïden met gelijk amplitude en een faseverschil $a \neq 0$, dan volgt uit de gegeven betrekking

(10) dat dit optreedt bij t = 1/2 a en dat het bedraagt

$$v_m = 2\ A_W \sin 1/2\ a$$

Bij waarnemingen die om het half uur (1/2) zijn verricht zal de faseverschuiving die niet meer in rekening kan worden gebracht maximaal in de orde van een kwartier liggen zodat voor dit geval (T = 12.6 uur zie pag. 6)

$$\frac{1}{2}\ a = \frac{1}{2}\ \frac{0.25}{12.6}\ 360 = 3{,}6^{\circ} \qquad (11)$$

Bij waarnemingen die om het uur (1/1) zijn verricht zal deze faseverschuiving maximaal een half uur bedragen zodat dan

$$\frac{1}{2}\ a = \frac{1}{2}\ \frac{0.50}{12.6}\ 360 = 7{,}1^{\circ} \qquad (11a)$$

Voor deze gevallen is dus het maximale verschil

$$v_m\ (1/2) = 2\ A_W \sin 3{,}6^{\circ} \quad \text{resp.} \quad v_m\ (1/1) = 2\ A_W \sin 7{,}1^{\circ}$$
$$= 0.1256\ A_W \quad \text{resp.} \quad = 0.2472\ A_W$$

Wat globaal kan worden gesteld op

$$v_m\ (1/2) = \frac{1}{8}\ A_W \quad \text{resp.} \quad v_m\ (1/1) = \frac{1}{4}\ A_W \qquad (12)$$

Deze uitkomst houdt in dat verschillen van deze orde tussen gemeten en berekende stijghoogten moeten worden geaccepteerd.

De maximale discrepanties zijn dus afhankelijk van de amplitude A_W. In de omgeving van de rivier is $\beta = 1$ en dus $A_W = A_R$, maar nooit groter. Dit houdt in dat bij de rivier, waarvoor tijdens de periode van ijking gold dat A_R = 73 cm, het grootste verschil dat niet meer door faseverschuiving kan worden verlaagd, naar boven afgerond bedraagt:

$$v_m\ (1/2) = 10 \text{ cm} \qquad v_m\ (1/1) = 20 \text{ cm}$$

Voor waarden van t waarvoor $t \neq \frac{1}{2} a + k.180$ zullen de afwijkingen dus steeds kleiner zijn.

In tabel 2 zijn de waarden van v_m voor alle buizen vermeld, rekening houdend met de frequentie van opmeting respectievelijk met de amplitude A_W. De grootste verschillen bedragen nog geen decimeter en vallen geheel binnen wat aan toevallige afwijkingen verwacht kan worden.

III. UITKOMSTEN VAN DE NUMERIEKE BEWERKINGEN

Thans zullen de uitkomsten van de uitgevoerde bewerkingen worden besproken.

Van elke (willekeurige) buis in het gebied van onderzoek werden de coëfficiënten b_1, b_2 en b_0 bepaald uit

$$Y_W (t + t_w) = b_1 Y_R (t) + b_2 Z_P (t) + b_0 + e \qquad (13)$$

waarin e de fout is die voortkomt uit het feit dat de waarnemingen zelf in het algemeen niet aan (8a) zullen voldoen. Van de e's wordt aangenomen dat ze normaal verdeeld zijn en een gemiddelde waarde gelijk aan 0 zullen hebben. De coëfficiënten werden uitgerekend bij die waarde t_w van de faseverschuiving die maakt dat de aanpassing van de gegevens aan (13) zo goed mogelijk is, met andere woorden een zo hoog mogelijke correlatie-coëfficiënt oplevert.

Vervolgens werden verder bepaald: de standaardafwijkingen van de coëfficiënten, de enkelvoudige correlaties met de basisreeksen Y_R en Z_P, de verschillen tussen berekende en gemeten waarden en de standaardafwijking van de aanpassing (zie Appendix 2).

Amplitude

Van alle tijdstijghoogtelijnen werd het verschil in hoogte tussen top en opvolgend dal en daaraan aansluitend dat van het dal en de daaropvolgende top opgemeten. Het gemiddelde van deze verschillen, veelal 10 in aantal werd als gemiddelde waarde van 2 x het amplitude beschouwd (tabel 1). In figuur 8 staat deze gemiddelde waarde in een overzichtskaartje weergegeven.

Duidelijk blijkt dat met toenemende afstand tot de rivier de amplitude geringer wordt. In een strook langs de Schie is deze afname niet zo sterk.

Deze oude bedding manifesteert zich door een nauwere relatie met de waterbeweging op de rivier dan op overeenkomstige afstanden elders voorkomt.

Tot een afstand van ongeveer 400 meter van de oever is de amplitude van het diepe grondwater nog 25 cm.

Naijling

De naijling van de stijghoogten in de peilbuizen ten opzichte van de rivier werd, zoals eerder besproken, numeriek bepaald door na te gaan bij welke ver-

schuiving de aanpassing van berekende aan gemeten standen zo groot mogelijk was. Dat deze methode tamelijk gevoelig is moge uit het voorbeeld blijken dat in tabel 3 is gegeven.

Voor peilbuis B werd een naijling van een half uur vastgesteld (correlatiecoëfficiënt .981). Worden de gegevens van deze buis verder teruggeschoven, in het voorbeeld steeds met een half uur, dan wordt met een verdere terugschuiving v van 3 uur de laagste waarde van .027 bereikt. De enkelvoudige correlatie met de rivierstand is ongeveer gelijk aan 0, aangevend dat de waterstandsbewegingen na dit tijdsbestek (op 84° 48')tegengesteld geworden zijn. Na nog verdere verschuiving lopen de bewegingen weer in fase. De metingen vanaf 19.23 u verricht geven dan een correlatie van .922.

Aan de hand van de beste uitkomsten kon worden vastgesteld wat de gemiddelde faseverschuiving over de periode van ijking is geweest. Deze faseverschuiving (-vertraging is in uren uitgedrukt weergegeven in figuur 9.

Ook in deze figuur komt het effect van grotere afstanden tot de rivier tot uiting door een toename van de vertraging. Langs de Schie is de vertraging op waarden kleiner dan 1 uur te stellen waarmee wederom de invloed van de oude bedding tot uiting komt.

Een relatief grote vertraging werd geconstateerd in peilbuis C, namelijk ruim 1½ uur. De mogelijkheid bestaat dat hierin de wat geringere diepte van het filter en een ligging in minder grove zandlagen tot uiting komt.

Plaatselijke invloeden

Zoals uiteengezet kunnen stijghoogten in willekeurige peilbuizen worden gereconstrueerd uit rivierstanden respectievelijk plaatselijke invloeden. De plaatselijke invloeden van een bepaald punt worden verkregen door uit de betreffende stijghoogten de rivierinvloed te elimineren. Hetgeen overblijft is een waarnemingsreeks die mede kan dienen tot het terugrekenen van de waterstanden in een willekeurige buis volgens de eerder geschetste methode.

Voor een tweetal gevallen is een grafiek samengesteld waarin het verschil ten opzichte van de aanpassing aan de rivierstanden is weergegeven. Tevens zijn de 'overdaguren' door een kader apart aangegeven (fig. 10 en 11).

Uitgaande, in het eerste geval, van de stijghoogtegegevens van peilbuis 16 die niet de overdaguren (8-19 u) bevatten werd een aanpassing aan de rivierstan-

den berekend. Hiervoor werd met het volgend model (vgl. met 13)

$$Y_{16}\,(t + t_w) = b_1\, Y_R\,(t) + b_0 + e \qquad (t \neq 8\ u, \ldots\ldots 19\ u)$$

gevonden voor

t_w = 0 uur

b_1 = 0.1811

b_0 = 213.7027

Het plaatselijk effect wordt nu voorgesteld door het verschil

$$Y_{'16'} = Y_{16}\,(t) - b_1\, Y_R\,(t) - b_0$$

Dit verschil is in figuur 10 grafisch weergegeven.

De gegevens van figuur 10 worden dus verkregen door toepassing van het rekenschema, gegeven in tabel 7a. Slechts de uitkomsten berekend op de hele uren zijn in de figuur uitgezet.

Het blijkt dat de verlagingen, dat wil zeggen de afwijkingen naar lagere standen voornamelijk in de overdaguren plaatsvinden, wat mogelijk op plaatselijke industrieontrekkingen wijst.

Anders is het beeld voor peilbuis B (fig. 11) waarin de afwijkingen veel wisselvalliger zijn en geen duidelijk verband houden met overdag- of nachturen. Plaatselijke onttrekkingen overdag manifesteren zich hier niet.

De in figuur 10 gegeven verschilreeks ten opzichte van de rivier voor peilbuis 16 werd mede in (13) opgenomen voor het reconstrueren van de stijghoogten uit de overige buizen. Het plaatseffect wordt nu dus gerepresenteerd door de op rivierinvloed gecorrigeerde standen uit peilbuis 16 aangegeven door het symbool '16'.

Samenvatting van uitkomsten

Met behulp van de waarnemingsreeks van de rivierstanden en die van peilbuis '16' werd gezocht naar de beste aanpassing aan de overige stijghoogtegegevens.

De resultaten die uit de numerieke bewerking ter beschikking komen worden gegeven als regressie-coëfficiënten uit (8a) en de bijbehorende correlatie-coëf-

ficiënten en in eerste instantie dus in de vorm van een tabel. In de tabellen 2, 4 en 5 zijn deze uitkomsten vermeld.

In tabel 4 staan zowel de multipele correlaties als de enkelvoudige correlaties met elk der afzonderlijke reeksen voor de rivierstand en peilbuis '16' vermeld. Over het algemeen zijn de multipele correlatie-coëfficiënten zeer hoog hetgeen betekent dat een goede reconstructie van de stijghoogten in de verschillende buizen kan plaatsvinden. Verder betekent een hoog getal in kolom 3 dat het verband met de rivierstanden groot is. Een hoog getal in kolom 4 houdt in dat de gegevens uit de betreffende buis nauw samenhangen met de op rivierefect gecorrigeerde reeks van peilbuis 16 ('16'). In het eerste geval overheersen de rivierinvloeden, in het tweede de plaatselijke effecten.

Overzichtelijker wordt dit geheel wanneer weer de uitkomsten op een kaartje worden weergegeven (fig. 12, 13 en 14).

In grote trekken wordt weer het beeld teruggevonden dat ook in de amplituden en naijling naar voren kwam: een geleidelijke afname van de rivierinvloed met toenemende afstanden en een 'voortplanting' van deze invloed langs de oude Schiebedding (fig. 12 en 13).

In figuur 14 zijn de multipele correlatie-coëfficiënten weergegeven. Hier blijkt dat langs de Schie juist relatief lagere waarden optreden dan elders. Dit houdt in, dat naast de relatief duidelijke rivierinvloed de stijghoogten langs de Schie nog door andere hydrologische effecten bepaald zijn.

In tabel 5 zijn de coëfficiënten b_1, b_2 en b_0 uit (13) en hun standaardafwijking (in twee significante cijfers) weergegeven.

Zoals uit (7),(7a),(8) en (8a) blijkt hebben b_1 en b_2 de betekenis van amplitude-verhoudingen waarin in het bijzonder die voor de rivier nog met S wordt aangeduid. Afgeronde bedragen van de amplitude-verhouding worden weergegeven in tabel 4. In een laatste hoofdstuk zal op deze verhoudingen teruggekomen worden.

IV. RECONSTRUCTIE VAN STIJGHOOGTEN

Uitgaande van de waarden van de coëfficiënten zoals deze zijn samengevat in tabel 5 is het mogelijk aan de hand van gegevens in de basisreeksen de stijghoogte van elke buis op een gegeven tijdstip terug te berekenen.

E en enkel voorbeeld wordt gegeven in tabel 7b. Voor peilbuis B werd berekend dat de naijling gemiddeld 30 minuten bedraagt (tabel 4). Moet nu van een gegeven tijdstip t de waarde van de stijghoogte in B worden teruggerekend uit het riviereffect en plaatseffect, dan moeten uit de metingen die gegevens van de effecten gebruikt worden die opgemeten zijn op tijdstip $t - t_w = t - 30'$. In tabel 7b is dit voorgesteld door het terugschuiven van de Y_B-reeks over een half uur. Met behulp van de aan tabel 5 ontleende waarden $b_1 = .421$, $b_2 = .219$ en $b_0 = 130.22$ wordt de gevraagde stijghoogte gevonden. Zo wordt bijvoorbeeld bij t = 3 u 30' de waarde 104.20 cm gevonden, welke moet worden vergeleken met de gemeten 95 cm. Het verschil tussen gemeten en berekende waarde $(Y - \bar{Y})$ bedraagt dus - 9,2 cm.

Voor de uitgevoerde bewerking is het nodig vooraf afzonderlijk het plaatseffect af te leiden uit de metingen van peilbuis 16 zoals in tabel 7a plaatsvond. Eenvoudiger is het dus de gegevens van rivierstand en peilbuis 16 te gebruiken zonder de omrekening naar het plaatseffect (tabel 7c): De coëfficiënten die in dat geval moeten worden gebruikt zijn vermeld in tabel 6. De reeksen rivierstand en peilbuis 16 zijn niet geheel correlatie-vrij (r = .76) doch op de reeks $Y - \bar{Y}$ in de laatste kolom van tabel 7c heeft dit geen invloed.

Teneinde een goede vergelijking te kunnen treffen met de stijghoogten die slechts om het uur zijn gemeten wordt in het volgende ook slechts met de terugkerende waarden waarvan de rivierstanden op de hele uren opgemeten zijn, rekening gehouden.

De verschillen tussen gemeten en berekende waarden, namelijk $(Y - \bar{Y})$ in de laatste kolom van tabel 7b en c, geven een indicatie over de mate waarin het gelukt is voor de praktijk aanvaardbare schattingen voor de stijghoogten in de diverse peilbuizen te kunnen verkrijgen. De opzet was namelijk steeds de som van kwadraten van de afwijkingen te minimaliseren - $\sum (Y - \bar{Y})^2$ minimaal - en berekend kan dus worden hoe groot dat minimum nog is.

In tabel 2 staat in kolom 4 de standaardafwijking van de berekening vermeld volgens

$$s = \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{n - p}}$$

waarin n het aantal gegevens is (n = 55) en p het aantal parameters (p = 3). Het blijkt dus dat deze standaardafwijking overal kleiner is dan 10 cm. Beter is nog om na te gaan welke afwijkingen ook in meer extreme gevallen nog verwacht kunnen worden als afwijkingen van de gemiddelde stijghoogte. Hiertoe kan worden berekend welke waarde met een kleine kans (bv. 1%) nog overschreden zal worden. Overschrijdingen die groter zijn dan deze waarde zullen geacht worden niet meer door toevallige afwijkingen in stijghoogte tot stand te zijn gekomen. Hiervoor gaat de belangstelling uiteraard uit naar overschrijdingen van diepe standen die al of niet aan de bronbemaling moeten worden toegeschreven, zodat een eenzijdige overschrijding van 1% dient te worden berekend waarbij rekening dient te worden gehouden met het aantal vrijheidsgraden n - p = 52. De uitkomsten hiervan staan in kolom 5 van tabel 2 vermeld, waarbij gebruik is gemaakt van het feit dat bij een standaardafwijking ter grootte 1 bij 52 vrijheidsgraden de waarde 2,40 met een kans van 1% zal worden overtroffen (HALD, 1960).

Het blijkt (tabel 2) dat stijghoogten die meer dan twee decimeter dieper zijn dan de berekende stijghoogten aanleiding zijn om aan te nemen dat een invloed aanwezig is die een systematisch lagere stand veroorzaakt dan verwacht kan worden, waarbij het risico 1% bedraagt dat toch nog toevallige omstandigheden een rol hebben gespeeld.

In dit verband kan nog naar kolom 6 van tabel 2 worden verwezen. In deze kolom staan de multipele correlatie-coëfficiënten weergegeven. Deze coëfficiënten zijn, zoals reeds eerder werd opgemerkt, niet schaalafhankelijk, de standaardafwijking daarentegen wel. Zo kan dus bij een correlatie-coëfficiënt van .97 een kritieke waarde van 13,9 cm behoren (peilbuis 17) maar ook een kritieke waarde van 6,7 cm komt voor (peilbuis 18). Absoluut gezien is dus voor peilbuis 18 een betere aanpassing dan voor nr. 17 verkregen. Ook kan bijvoorbeeld nog op peilbuis 13 worden gewezen. De correlatie-coëfficiënt van 0,50 duidt er op dat de aanpassing tamelijk slecht is: de berekende waarden tonen niet veel verband met de gemeten waarden. Toch zullen de verschillen maar zelden meer dan 3,6 cm bedragen.

Overzichtelijker wordt het voorgaande weer wanneer de kritieke waarden in een kaartje worden weergegeven (fig. 15). Langs de rivier zullen de stijghoogten niet minder dan 10 - 15 cm onder de berekende waarden liggen; langs de Schie, waar de stijghoogten niet alleen van de rivierstanden afhangen, zullen de stijghoogten hoogstens 20 cm lager liggen dan de berekende. Verder van de rivier af waar de rivierinvloed geen grote rol meer speelt en de stijghoogten nog maar zeer geringe fluctuaties vertonen zullen de standen tot op 5 cm nauwkeurig terug-

gerekend kunnen worden.

Tot slot van deze beschouwing worden enkele voorbeelden gegeven van volledig teruggerekende tijdstijghoogtelijnen (fig. 16 t/m 20).

In figuur 16 staat voor peilbuis nr.14 aangegeven welke de gemeten en welke de terugberekende stijghoogten zijn geweest. In het onderste gedeelte van de figuur staan de verschillen tussen berekende en gemeten uitkomsten nog eens afzonderlijk op wat grotere schaal weergegeven. Tevens staat hier de kritieke waarde die met een kans van 1% overschreden zal worden aangegeven. Deze peilbuis vertoont in de gemeten standen geen niveaudaling; de terugberekende waarden sluiten binnen een marge van 10 cm aan de gemeten waarden aan.

Figuur 17 toont de gemeten en berekende standen van peilbuis 4. Deze buis vertoont een niveaudaling van 18 cm en een duidelijk enkel-daags tij (slechts 3 toppen) De stijghoogten in dit meetpunt die een geheel ander karakter dan de voorgaande serie vertonen blijken eveneens redelijk nauwkeurig met een marge van ongeveer 5 cm terug berekend te kunnen worden, De kritieke waarde bedraagt hier 5,5 cm.

Het volgende voorbeeld (fig.18) is afkomstig van peilbuis nr.2, die een niveaudaling van 36 cm vertoont. Ook hier is de marge waar binnen de terug berekening plaatsvindt ongeveer 10 cm. De kritieke waarde bedraagt hier 9,8 cm.

Een voorbeeld van een peilbuis in de Schiebedding wordt gegeven in figuur 19. Voor deze buis (nr. 5) zijn de afwijkingen tussen gemeten en berekende standen vrij groot. De kritieke waarde bedraagt hier 21,8 cm bij een multipele correlatie-coëfficiënt van ,86.

Het laatste voorbeeld (fig. 20) is dat van peilbuis 13. De correlatie-coëfficiënt is slechts .50 doch in cm uitgedrukt is het verschil tussen gemeten en berekende stand gering. De kritieke waarde bedraagt slechts 3,6 cm zodat de stijghoogten tot op enkele cm nauwkeurig kunnen worden terug berekend.

Met de behandeling van het vraagstuk van de reconstructie van stijghoogten uit twee basisreeksen en de daarmee te bereiken nauwkeurigheid kan het praktisch gedeelte afgesloten worden geacht.

Het blijft echter een interessant vraagstuk de invloed van de afstand tot de rivier nader te onderzoeken. Hierop zal in het volgende hoofdstuk nog iets nader worden ingegaan.

V. DE INVLOED VAN DE AFSTAND TOT DE RIVIER

In hoofdstuk II werden voor de numerieke bewerking formules afgeleid die als basis voor de berekening dienst konden doen. Teruggrijpend op de theorie van STEGGEWENZ kan ook de afstand tot de rivier in de beschouwingen worden betrokken. Zo geldt volgens (3) voor de amplitude van een willekeurige buis

$$A_W = A_R \, e^{-ax} \tag{14}$$

en voor de fasevertraging volgens (4)

$$t_w = \frac{Y}{n} x \tag{15}$$

waarin x de afstand tot de rivier is.

Voor de formule (14) kan geschreven worden

$$\log A_W = - 0{,}4343 \, ax + \log A_R$$

of

$$\log \frac{A_W}{A_R} = \log S = - 0{,}4343 \, ax \tag{16}$$

waarmee dus twee lineaire betrekkingen met de afstand x zijn verkregen.

Hoewel niet aan alle voor de theoretische afleiding gestelde voorwaarden is voldaan, zoals de homogeniteit van het profiel, kan toch worden nagegaan in hoeverre de gegeven lineaire betrekkingen voldoen.

Allereerst zal dan echter moeten worden vastgesteld wat onder de afstand x van een bepaalde peilbuis tot de rivier zal moeten worden verstaan. Het grillige beeld van de vele insteekhavens (zie fig. 1) maakt het moeilijk tot een bepaalde schematisering te komen tenzij zeer globaal de oever van de rivier als strakke lijn wordt aangehouden.

Teneinde te kunnen nagaan wat de beste voorstellingswijze is werd van elke peilbuis de afstand loodrecht op de rivieroever (fig. 1) gemeten evenals de afstand tot het dichtstbijzijnde open water (tabel 4).

In figuur 21a is voor een achttal peilbuizen tussen de Vlaardingervaart en de Wilhelminahaven (raai I) de amplitudeverhouding met de rivier zoals deze uit de berekeningen volgde, uitgezet tegen de afstand tot de rivieroever.

De snijding met de verticaal (x = 0) vindt niet plaats bij S = 1 doch bij S = 0,62 wat erop wijst dat er een extra oeverweerstand langs de rivier optreedt.

In figuur 21b is dezelfde amplitudeverhouding uitgezet tegen de afstand tot het naaste open water. Het onderlinge verband is hier veel minder duidelijk. Voor de buizen die een duidelijk riviereffect vertonen blijkt de amplitudeverhouding onafhankelijk met de afstand tot de naaste haven. Dit houdt in dat de gegeven schematische oeverlijn van figuur 1 een goede schematisering betekent. De insteekhavens met damwandafsluiting hebben praktisch geen invloed op de stijghoogten van het water in de naastliggende peilbuizen.

De figuren 22a en 22b geven op eenzelfde wijze het verband tussen fasevertraging en afstand respectievelijk tot de rivier en tot de dichtstbijzijnde haven.

Het beeld dat hier ontstaat is minder duidelijk te interpreteren dan dat van de amplitudeverhoudingen. De spreiding van de gegevens is nu veel groter ook voor de peilbuizen op een afstand van minder dan 1000 m tot de rivier. In figuur 21b lijkt de spreding minder groot doch de gegevens wijzen uit dat de fasevertraging niet sterk wordt beïnvloed door de afstand tot het dichtstbijzijnde open water. Voor de buizen die een duidelijk riviereffect vertonen blijkt de fasevertraging onafhankelijk van de afstand tot de naaste havens. In figuren 23a en b en figuren 24a en b is dezelfde bewerking uitgevoerd voor een viertal buizen in de omgeving van de Vulcaanhaven (raai II). In grote lijnen gelden dezelfde conclusies als voor het voorgaande geval, zij het ook dat enigszins andere waarden voor de constanten worden gevonden.

In een tweetal laatste figuren (25 en 26) is nogmaals hetzelfde voor de buizen in de Schiebedding gedaan. De spreiding der gegevens is nog groter dan in het laatste geval. Een afname van de amplitudeverhouding valt uit de gegevens nog wel te concluderen, doch de fasevertraging neemt niet meer toe met de afstand, en heeft een vrij constante waarde (raai III).

Wordt nu aangenomen dat de amplitudeverhouding en de fasevertraging een functie zijn van de afstand tot de rivier dan kan met gevonden constanten volgens (5a) en (6a) een schatting worden gegeven voor de kD en de $\frac{kDc}{S}$ waarde uit de raaien I en II. Dit had het volgende resultaat

	raai I centrum	raai II Vulcaanhaven	
$kDc = \frac{1}{a^2 - \gamma^2}$	44×10^4	20×10^4	(17)
$\frac{kD}{S} = \frac{n}{2a\gamma}$	19×10^4	7×10^4	(18)

Bij de berekening van de lineaire betrekkingen, zoals voorgesteld in de figuren 21 tot en met 24, werd tevens voor elk van de berekende constanten de standaardafwijking bepaald. Nagegaan kan worden hoe afwijkingen in de constanten a en γ zich in (17) en (18) voortplanten tot afwijkingen in de kDc en $\frac{kD}{S}$ - waarden (zie Appendix 3). Voorts kan nog de orde van grootte van het interval worden vastgesteld waar binnen met 90% kans de werkelijke gemiddelde waarde van de hydrologische constanten kan worden verwacht. Voor het onderhavige geval werden de volgende intervallen gevonden.

	raai I centrum	raai II Vulcaanhaven
kDc	$37 \times 10^4 - 51 \times 10^4$	$8 \times 10^4 - 32 \times 10^4$
$\frac{kD}{S}$	$14 \times 10^4 - 24 \times 10^4$	$4 \times 10^4 - 10 \times 10^4$

Relatief bezien wordt voor raai I dus een wat beter resultaat gevonden, wat echter verband houdt met het feit dat hier 8 gegevens gebruikt zijn tegen 4 voor de berekening in raai II, wat de schattingen van de uitkomsten onzekerder maakt en de intervallen breder.

Met de amplitudeverhouding S werd een beoordeling gegeven van de coëfficiënt b_1 in relatie tot de afstand tot de rivier.

Echter kan niet zonder meer worden aangenomen dat de invloed van het plaatseffect, gerepresenteerd door peilbuis '16', eveneens op een dergelijke wijze met de afstand af zal nemen. Gesteld werd namelijk in hoofdstuk I dat dergelijke effecten plaatselijk kunnen worden veroorzaakt en dus op meer plaatsen tegelijk kunnen optreden. In de coëfficiënt b_2 wordt een maat gevonden in hoeverre het plaatseffect van peilbuis '16' op andere punten in even sterke mate wordt terug-

gevonden. Opgemerkt wordt dat het hier de coëfficiënten van het zuivere plaatseffect, dus zonder rivierinvloed betreft.

In figuur 27 zijn de waarden van b_2 uit tabel 5 in een kaartje weergegeven. Tevens zijn de belangrijkste stedelijke bebouwingen aangegeven. Het blijkt nu dat de hoogste waarden(1,5 tot 1) samenvallen met het bebouwingscentrum van Schiedam. Daarbuiten neemt de waarde van b_2 al spoedig af tot minder dan 0,20 hetgeen erop duidt dat er nog maar een gering effect van het type '16' aanwezig is. Relatief wat hogere waarden worden weer gevonden te Vlaardingen.

Geconcludeerd kan worden dat het plaatseffect sterk gebonden is aan de stedelijke, waarmee gezegd wil worden industriële-, bebouwing.

VI. SLOTOPMERKINGEN

In het voorgaande zijn onder een aantal aannamen berekeningen uitgevoerd die tot doel hadden stijghoogten te kunnen reconstrueren aan de hand van een tweetal basisreeksen.

In hoofdstuk IV is uitvoerig op deze reconstructie en de daarmee bereikte nauwkeurigheden ingegaan. Het bleek dat naast de invloed van de rivier ook plaatselijke effecten invloed uitoefenen op de stijghoogten van het diepe grondwater. Hierbij is er vooral aan gedacht deze plaatselijke invloeden toe te schrijven aan industrie-onttrekkingen. Er zijn aanwijzingen dat deze plaatselijke effecten speciaal overdag optreden (fig.10) bovendien blijkt het hoogwater dat overdag optreedt vaak zover verlaagd dat nog slechts 3 toppen van de 6 in de periode van ijking voorkomen, bijvoorbeeld in peilbuis 4 (fig.17) die in de bebouwing van Schiedam ligt (fig.27). Daarnaast moet bedacht worden dat in een gecompliceerd gebied als het onderhavige de mogelijkheid geenszins uitgesloten is dat een hoogwater zich systematisch niet in het diepe grondwater manifesteert (STEGGEWENZ, 1933). Hiervoor zou weer pleiten het feit dat de (lage) overdag top juist op een vrij constante afstand van 1700 m van de oever geheel verdwijnt.

De berekeningen werden uitgevoerd bij een rivierstand waarvan de gemiddelde waarde ongeveer met het N.A.P.-nulvlak overeenkwam. Sterke schommelingen om deze waarde zijn echter mogelijk, er is dan een ander doorstroomd profiel en de vraag kan gesteld worden of de voorgaande resultaten tot eenzelfde uitkomst voeren.

Uit de gegeven kaartjes waarin de uitkomsten in beeld zijn gebracht blijkt steeds weer dat de schematisch voorgestelde oeverlijn uit figuur 1 een goede benadering is voor de plaats waar het open water begrensd is. Merkwaardigerwijs blijken de vele insteekhavens geen grote invloed uit te oefenen. Enigszins in tegenspraak hiermee is het onduidelijke beeld dat ontstaat wanneer de fasevertraging tegen de afstand tot de rivier wordt uitgezet (fig. 22a). Hieruit blijkt wel degelijk de gecompliceerdheid van het gebied.

Het is echter mogelijk de analyse van de stijghoogten door aanvullende metingen nader te voltooien.

Indien de verlaging die nu aan plaatselijke en met enige speculatie aan industrie-invloeden wordt toegeschreven zich inderdaad slechts in de periode van 8 - 19 u manifesteert zal deze verlaging ook tot uiting moeten komen in waarnemingen die worden verricht in een tijd dat in deze uren juist een laagwater optreedt. Ook kan een vergelijking met de stijghoogten gemeten op de zuidelijke

oever nadere informatie verschaffen al zijn de geohydrologische omstandigheden hier niet meer geheel vergelijkbaar.

Wel kan vergelijking met metingen op de zuidelijke oever aan het licht brengen of inderdaad de invloed van de insteekhavens zo gering is hetgeen ook weer door het nagaan van de invloed van de rivieroever op de amplitudedemping respectievelijk fasevertraging kan plaatsvinden.

LITERATUUR

BOSCH, H.I., 1951 - Geohydrologisch onderzoek Berg-Ambacht: Hydr. Colloquium H.C. (S) nr. 225A

FRASER, D.A.S., 1958 - Statistics, An introduction. New York

HALD,A., 1960 - Statistical tables and formulas. New York

STEGGEWENZ, J.H., 1933 - De invloed van de getijbeweging van zeeën en getijrivieren op de stijghoogte van grondwater Diss. Delft.

APPENDIX 1

Dat de amplitudeverhouding, berekend volgens de aangegeven methode bij kleine faseverschuivingen tot het optreden van wat te kleine waarden aanleiding geeft volgt uit onderstaande beschouwing.

Zij weer de rivierstand, uitgedrukt ten opzichte van het gemiddelde niveau

$$Y_R = A_R \sin t \qquad (1)$$

met

$$\sum Y_R = 0$$

Zij weer de stijghoogte in een willekeurige buis, thans uitgedrukt ten opzichte van het gemiddelde niveau

$$Y_W = A_W \sin (t - a) \qquad (2)$$

Uit (1) volgt dus

$$\sin t = \frac{Y_R}{A_R} \text{ en } \cos t = \frac{1}{A_R}\sqrt{A_R^2 - Y_R^2} \qquad (3)$$

Wordt in een figuur de rivierstand (1) voor waarnemingen op eenzelfde tijdstip verricht, op de horizontale en de stijghoogte (2) op de verticale as uitgezet dan wordt de tijd t geëlimineerd wat in formule wordt

$$Y_W = A_W \sin t \cos a - A_W \cos t \sin a$$

en weer met S als de amplitudeverhouding en gebruikmakend van (3)

$$Y_W = Y_R\, S \cos a - S \quad A_R^2 - Y_R^2 \sin a \qquad (4)$$

De amplitudeverhouding S wordt volgens de methode van de kleinste kwadraten

uitgerekend volgens

$$tg\alpha = \frac{\left|\overline{Y}_W \; \overline{Y}_R\right|}{\left|\overline{Y}_R \; \overline{Y}_R\right|}$$

Uitwerking van de teller geeft, onder toepassing van (4)

$$\left|\overline{Y}_W \; \overline{Y}_R\right| = \left|\overline{Y}_R \; Y_R \; S \cos a - SY_R \sqrt{A_R^2 - Y_R^2} \sin \overline{a}\right|$$

$$= S \cos a \left|\overline{Y}_R \; \overline{Y}_R\right| - S \sin a \left|\overline{\sqrt{(A_R^2 - A_R^2 \sin^2 t) \; A_R^2 \sin^2 t}}\right|$$

De sommatie in de tweede term wordt dus bij sommatie over een aantal aequidistante waarden die een gehele golflengte bestrijken:

$$A_R \left|\overline{\cos t . \sin t}\right| = 0$$

zodat er overblijft

$$tg\alpha = S \cos a$$

en dus

$$S = \frac{1}{\cos a} . \; tg\alpha$$

zodat steeds een wat te kleine amplitudeverhouding zal worden gevonden. Nagegaan kan worden hoe groot deze verkleining maximaal zal zijn. Hiertoe worden weer twee gevallen onderscheiden

. Opmetingen om het 1/2 uur

Er geldt volgens (11) op pagina 16 dat de niet meer in rekening te brengen

faseverschuiving bedraagt

$$a = 7.1^{\circ}$$

en

$$\cos a = 0.9921, \qquad \frac{1}{\cos a} = 1.008$$

. Opmetingen om het 1/1 uur

Er geldt volgens (12)

$$a = 14.3^{\circ}$$

en

$$\cos a = 0.9686 \qquad \frac{1}{\cos a} = 1.03$$

zodat in het laatste geval de amplitudeverhouding maximaal ongeveer 3% te laag wordt geschat door faseverschillen die niet meer door verschuiving zijn te corrigeren.

Voor de amplitudeverhouding geldt

$$S = \frac{A_W}{A_R}$$

zodat voor een willekeurige peilbuis de amplitude is

$$A_W = S.A_R$$

De gemiddelde amplitude op de rivier (A_R) bedroeg tijdens de proefmetingen 73 cm (tabel 1) zodat dus

$$\bar{A}_W = 73\ S$$

De grootste verhouding berekend bij peilbuizen die 2 x per uur werden opgemeten bedroeg 0.421 (zie tabel 1) zodat dit een mogelijk te lage schatting oplevert van de amplitude van maximaal

$$\frac{0,8}{100} \times 73 \times 0,42 < 0,6 \times 0,42 = 0,25 \text{ cm}$$

hetgeen te verwaarlozen is.

De grootste verhouding berekend bij peilbuizen die 2 x per uur werden opgemeten bedroeg 0.36 (zie tabel 1) zodat dit een mogelijk te lage schatting oplevert van de amplitude van maximaal

$$\frac{3}{100} \times 73 \times 0,36 < 0,3 \times 0,36 = 0,11$$

hetgeen eveneens kan worden verwaarloosd.

APPENDIX 2

Het verschil in bewerking bij gebruik van peilbuis 16, respectievelijk het plaatseffect voorgesteld door '16', kan als volgt overzichtelijker worden weergegeven (fig.28)

Gevraagd wordt de stijghoogten van een willekeurige buis (index W) terug te berekenen uit de gegevens van rivierstand (R) en peilbuis 16. Wordt elke waarnememingsreeks voorgesteld door een vector, dan wordt er dus gevraagd naar een lineaire combinatie van de vectoren X_R en X_{16} namelijk

$$X_W = a_1 X_R + a_2 X_{16} \qquad (1)$$

Hierin zijn van alle waarnemingen de gemiddelden per reeks afgetrokken gedacht.

In het algemeen zullen de waarnemingen niet aan (1) voldoen of wel: X_W ligt niet in het vlak V dat voor X_R en X_{16} wordt opgespannen en er moet worden geschreven (fig.28)

$$X_W = a_1 X_R + a_2 X_{16} + e \qquad (2)$$

waarin de vector e de afwijkingen van de gemeten ten opzichte van de berekende standen voorstelt.

In vectorvoorstelling wordt de oplossing van het vraagstuk dat de vector e minimaal moet zijn, bereikt als X_W loodrecht geprojecteerd wordt op het vlak V opgespannen door X_R en X_{16} (fig.28). Zij deze projectie de vector van berekende waarden $\bar{X}_W$ dan zal nu wel gelden dat

$$\bar{X}_W = a_1 X_R + a_2 X_{16}$$

De waarnemingsreeksen X_R en X_{16} zijn gecorreleerd (correlatie-coëfficiënt = = .76). Door op de reeks X_{16} de invloed van de rivier in mindering te brengen wordt een vector $X_{'16'}$ verkregen die loodrecht op X_R staat volgens

$$X_{'16'} = X_{16} - p X_R$$

(zie ook fig.10)

De reeks $X_{,16'}$ is dus niet gecorreleerd met X_R en de vector $\bar{X}_W$ wordt dus ontbonden in de twee onafhankelijke componenten X_R en $X_{,16'}$ te weten het rivier-effect en het plaatseffect.

In de uitgevoerde bewerkingen waarbij onderscheid moest worden gemaakt tussen de overdag- en nachturen is het niet geheel gelukt twee onafhankelijke reeksen voor beide effecten te verkrijgen. De correlatie is echter wel laag gebleven namelijk $r = -0.15$.

Opgemerkt wordt nog dat de coëfficiënten a_1, a_2, b_1, b_2 en p verhoudingsgetallen voorstellen tussen lengten van vectoren en de daarop ontbondenen. Uit figuur 28 volgt dan ook zonder meer dat $a_2 = b_2$, zoals in tabel 5 en 6 tot uiting komt. Ook is zonder meer duidelijk dat dezelfde vector e moet worden verkregen onafhankelijk van de toegepaste ontbinding, vergelijk hiervoor de laatste kolommen in tabel 7b en 7c. Bovendien volgt nog uit de figuur dat b_1 grotere waarden moet aannemen dan a_1 en dat voor de andere gerichte ontbinding op dezelfde vector een kleinere standaardafwijking voor de coëfficiënten wordt verkregen, en tenslotte dat b_1 de coëfficiënt van het zuivere riviereffect is aangezien projectie van X_W op X_R alleen hetzelfde eindpunt oplevert, namelijk $b_1 X_R$, als projectie van $\bar{X}_W$ op X_R.

APPENDIX 3

De berekening van de hydrologische constanten.

Uit raai I en raai II werden gevonden uit

$$A_W = A_R \, e^{-ax}$$

en

$$t_w = \frac{\gamma}{n} x$$

de volgende waarden voor de parameters (zie fig.21a, 22a en 23a, 24a) en de standaardafwijking s.

	raai I	raai II
a	0.0017	0.0026
$\frac{\gamma}{n}$	0.00155	0.00274
γ (n = 0.4986)	0.000773	0.001366
s (a)	0.000090	0.000335
s (γ)	0.000268	0.000279
$kDc = \frac{1}{a^2 - \gamma^2}$	43.9×10^4	20.3×10^4
$\frac{kD}{S} = \frac{n}{2a\gamma}$	$19{,}0 \times 10^4$	$7{,}0 \times 10^4$

Er volgt nu voor kleine afwijkingen in a en γ dat

$$\Delta\,(kDc) = \frac{2}{(a^2 - \gamma^2)^2}\,(\gamma\Delta\gamma - a\Delta a)$$

Na kwadratering en verwaarlozing van de produktterm, waarbij dus wordt aangenomen dat de afwijkingen in a en γ niet gecorreleerd zijn volgt hieruit een betrekking voor de variantie σ^2 (kDc)

Op overeenkomstige wijze volgt dat

$$\frac{1}{S}\,\Delta\,(kD) = \frac{n}{2\,(a\gamma)^2}\,(\gamma\Delta a + a\Delta\gamma)$$

waaruit weer de formule voor σ^2 (kD) door kwadratering volgt.

Voor de raaien I en II worden nu de volgende uitkomsten verkregen voor de uit gegevens berekende waarde s van de grootheid σ.

	raai I	raai II
s (kDc)	$9{,}9 \times 10^4$	$7{,}9 \times 10^4$
$\frac{1}{S}$ s (kD)	$6{,}7 \times 10^4$	$1{,}7 \times 10^4$
aantal gegevens(n)	8	4
t-waarde bij 10% tweezijdig	1,94	2,92
$\frac{1}{\sqrt{n}}$ s $(\overline{kDc}) \times t_{10}$	$6{,}79 \times 10^4$	$11{,}49 \times 10^4$
$\frac{1}{\sqrt{n}}\,\frac{1}{S}$ s $(\overline{kD}) \times t_{10}$	$4{,}59 \times 10^4$	$2{,}45 \times 10^4$

Hiermede kan nu het 90% betrouwbaarheidsinterval voor de gemiddelde waarden worden vastgesteld.

Tabel 1. Overzicht van enkele uitkomsten en vaste gegevens van het meetpunt van de rivierstand en de peilbuizen van het diepe grondwater

Peilbuis nr.	Aantal waarn. per uur	Gemidd. stand in cm - NAP	Tijd waarop gem. optreedt dd. 10-10-62	Gemidd. amplitude $\left(\frac{\text{top-dal}}{2}\right)$ in cm	Amplitude-verhouding S uit kolom 5	S uit berekening: b_1 uit (8a)	Niveaudaling tijdens metingen in cm	Diepte midden filter m - NAP	Afstand loodrecht op rivieroever in m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Rivier	2	04	16.00	73	1.	1.	+ 8	-	0	R
A	2	163	16.00	27	.37	.34	20	21,68	400	A
B	2	132	16.30	33	.46	.42	4	21,48	150	B
C	1	194	17.40	20	.28	.26	16	19,24	450	C
1	1	225	17.35	6	.08	.07	10	20,95	1275	1
2	1	280	17.05	11	.16	.15	36	21,03	975	2
3	2	242	18.55	3	.04	.04	10	23,78	1625	3
4	2	313	17.20	7	.09	.06	18	21,68	1725	4
5	1	244	16.55	20	.29	.27	+ 4	20,79	325	5
6	1	272	21.35	2	.03	.01	8	23,38	2150	6
7	1	375	16.00	15	.21	.09	16	21,77	2000	7
8	1	352	17.33	4	.06	.06	18	15,61	1125	8
9	1	360	16.20	7	.10	.05	10	22,80	2900	9
10	1	374	18.06	4	.06	.05	16	23,00	1750	10
11	1	167	16.45	14	.19	.17	2	21,77	725	11
12	1	187	17.30	6	.09	.08	0	21,62	975	12
13	1	212	20.00	2	.03	.01	2	23,09	1625	13
14	2	106	16.13	27	.39	.36	0	18,13	225	14
15	2	134	16.15	21	.30	.28	0	21,30	550	15
16	2	233	16.00	12	.17	.18	14	23,82	875	16
17	1	97	16.33	30	.42	.36	0	20,09	275	17
18	2	178	16.10	16	.23	.21	6	-	725	18

Tabel 2. Overzicht met betrekking tot de nauwkeurigheid van de resultaten van de numerieke bewerking

Peil-buis nr.	Aantal waarn. per uur	v_m in cm	Standaard-afwijking s van $(Y_W - \bar{Y}_W)$	Kritieke waarde in cm s x 2,40 (99%)	Multipele correlatie-coëff.	Amplitude (gemiddeld) in cm
1	2	3	4	5	6	7
Rivier	2				1.00	73
A	2	3,4	5,2	12,5	.96	27
B	2	4,5	4,6	11,0	.98	33
C	1	5,2	2,5	6,0	.98	20
1	1	1,8	2,6	6,2	.86	6
2	1	2,5	4,1	9,8	.97	11
3	2	0,5	1,9	4,6	.85	3
4	2	0,8	2,3	5,5	.96	7
5	1	8,0	9,1	21,8	.86	20
6	1	0,5	0,8	1,9	.94	2
7	1	4,0	7,6	18,2	.81	15
8	1	1,0	2,4	5,8	.91	4
9	1	2,0	3,5	8,4	.85	7
10	1	1,5	2,2	5,3	.94	4
11	1	4,0	3,1	7,4	.95	14
12	1	2,2	2,9	7,0	.84	6
13	1	0,5	1,5	3,6	.50	2
14	2	4,1	4,9	11,8	.97	27
15	2	3,0	2,6	6,2	.99	21
16	2	1,6			1.00	12
17	1	8,0	5,8	13,9	.97	30
18	2	2,3	2,8	6,7	.97	16

Tabel 3. Voorbeeld van het effect van toenemende faseverschuiving op de correlatie-coëfficiënten

Eerste gegevens van de reeks gemeten op uur u voor meetpunt			Multipele correlatie-coëfficiënt	Tijd in graden	Enkelvoudige correlatie met rivierstanden
Rivier	'16'	B			
1	2	3	4	5	6
13.00	13.00	13.00	.968	- 14° 8'	.963
		.30	.981	0 0	.979
		14.00	.938	14 8	.937
		.30	.814	28 16	.814
		15.00	.665	42 24	.665
		30	.445	56 32	.444
		16.00	.242	70 40	.242
		.30	.027	84 48	-.009
		17.00	.215	98 56	-.208
		.30	.435	113 4	-.423
		18.00	.607	127 12	-.592
		.30	.763	141 20	-.739
		19.00	.868	155 28	-.842
		.23	.922	166 18	-.888
		.53	.917	180 26	-.884
		20.20	.856	193 9	-.816
		.47	.741	205 52	-.704

Tabel 4. Overzicht van uitkomsten met betrekking tot vorm en type van de tijdstijghoogtelijnen

Peil-buis nr.	Multipele correlatie-coëfficiënt	Enkelvoudige correlaties Y_R Y_W	Enkelvoudige correlaties $Y_{'16'}$ Y_W	Fasevertraging in uur-min volgens verschuiving	Amplitude-verhouding S	Afstand in m: Loodrecht rivieroever	Afstand in m: Tot dichtstbijzijnde open water	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Rivier	1.00	1.00	-.15	0 - 0	1.	0	0	R
A	.96	.92	.16	0 - 0	.34	400	125	A
B	.98	.98	-.07	0 - 30	.42	150	150	B
C	.98	.96	.08	1 - 40	.26	450	100	C
1	.86	.71	.37	1 - 35	.07	1275	450	1
2	.97	.40	.81	1 - 05	.15	975	375	2
3	.85	.45	.64	2 - 55	.04	1625	800	3
4	.96	.24	.88	1 - 20	.06	1725	1050	4
5	.86	.83	.08	0 - 55	.27	325	50	5
6	.94	.09	.91	5 - 35	.01	2150	1350	6
7	.81	.29	.70	0 - 0	.09	2000	1200	7
8	.91	.41	.75	1 - 33	.06	1125	200	8
9	.85	.28	.75	0 - 20	.05	2900	1750	9
10	.94	.28	.85	2 - 06	.05	1750	675	10
11	.95	.94	-.01	0 - 45	.17	725	250	11
12	.84	.77	.21	1 - 30	.08	975	250	12
13	.50	.32	.33	4 - 00	.01	1625	925	13
14	.97	.97	-.06	0 - 13	.36	225	225	14
15	.99	.98	-.07	0 - 15	.28	550	75	15
16	1.00	.76	.53	0 - 0	.18	875	75	16
17	.97	.97	-.13	0 - 33	.36	275	50	17
18	.97	.95	.06	0 - 10	.21	725	100	18

15/0265/40

Tabel 5. Overzicht van uitkomsten met betrekking tot de constanten ten behoeve van het reconstrueren van stijghoogten uit riviereffect en plaatseffect (peilbuis '16')(.341 parameterwaarde, .031 standaardafwijking

Peilbuis nr. 1	b_1 (S) (rivier) 2	b_2 ('16') 3	b_0 (niveau) 4	Peilbuis nr. 1	b_1 (rivier) 2	b_2 ('16') 3	b_0 (niveau) 4
A	.341	.779	161.50	9	.0492	.716	359.42
	.031	.095	.72		.0089	.064	.49
B	.421	.219	130.22	10	.0488	.774	373.15
	.011	.083	.62		.0055	.040	.30
C	.2581	.416	192.96	11	.1656	.164	166.74
	.0063	.046	.35		.0079	.057	.43
1	.0716	.324	224.59	12	.0801	.232	186.21
	.0067	.048	.36		.0074	.053	.40
2	.153	1.871	278.51	13	.0118	.088	211.71
	.010	.074	.56		.0038	.027	.21
3	.0357	.334	241.76	14	.358	.219	104.93
	.0048	.035	.26		.012	.088	.67
4	.0565	1.021	312.29	15	.2751	.152	132.56
	.0059	.043	.32		.0066	.048	.36
5	.270	.47	243.2	16	.181097	1.00000	231.8125
	.023	.16	1.2		.000052	.00038	.0028
6	.0102	.301	272.59	17	.385	.03	95.70
	.0022	.016	.12		.015	.11	.80
7	.094	1.27	374.2	18	.2111	.317	176.69
	.019	.14	1.0		.0071	.051	.39
8	.0550	.617	351.84				
	.0060	.043	.33				