

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

Duwvaartsluizen in de Philipsdam

Hydraulisch onderzoek in het kader van de besturing

Interim-rapport

R 1719

mei 1982

Duwvaartsluizen in de Philipsdam

Hydraulisch onderzoek in het kader van de besturing

Interim-rapport

R 1719

mei 1982

INHOUD

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding</u>	1
<u>2</u> <u>Historisch overzicht</u>	2
<u>3</u> <u>Probleemstelling</u>	4
<u>4</u> <u>Opzet en aanpak van de studie</u>	5
<u>5</u> <u>Uitgangspunten en randvoorwaarden</u>	7
5.1 Basisdebietprogramma's	7
5.2 Hydraulische en mechanische beperkingen	10
5.2.1 Haalbare debiet en haalbare debietop- en afbouwsnelheid ...	10
5.2.2 Maximale rioolschuifsnelheid	11
5.2.3 Luchtaanzuiging	11
5.2.4 Schuifkrachten	13
<u>6</u> <u>Opzet rekenmodellen</u>	16
6.1 Inleiding	16
6.2 Rekenmodel voor nivelleren	16
6.2.1 Invoergegevens	16
6.2.2 Kiezen en bepalen van de van toepassing zijnde grootheden .	16
6.2.3 Vaststellen debiet- en schuifprogramma	18
6.2.3.1 Haalbare debiet en haalbare debietop- en afbouwsnelheid ...	18
6.2.3.2 Maximale rioolschuifsnelheid	21
6.2.3.3 Luchtaanzuiging en schuifkrachten	21
6.2.3.4 Nivelleertijd	22
6.3. Rekenmodel voor uitwisselen	23
6.3.1 Invoergegevens	23
6.3.2 Kiezen en bepalen van de van toepassing zijnde grootheden .	23
6.3.3 Vergelijkingen	24
6.3.4 Vaststellen debiet- en schuifprogramma	25
<u>7</u> <u>Resultaten en evaluatie basisdebietprogramma's</u>	28
7.1 Inleiding	28
7.2 Berekeningsresultaten	28
7.3 Evaluatie basisdebietprogramma's	28

INHOUD (vervolg)

	blz.
<u>8</u> <u>Stand van zaken en verder onderzoek</u>	30
<u>9</u> <u>Tijdschema en kosten</u>	30

LITERATUUR

TABELLEN

FIGUREN

1 Inleiding

Via de werkgroep "Besturing Krammersluizen" is de waterloopkundige hoofd-afdeling van de Deltadienst (WT) betrokken bij de ontwikkeling van een be- sturingssysteem voor de Krammersluizen in de Philipsdam. De inbreng van WT hierin betreft de waterloopkundige aspecten. In deze laat WT zich bijstaan door het Waterloopkundig Laboratorium (WL).

De taak van WT/WL in de werkgroep "Besturing Krammersluizen" is het verzor- gen van de hydraulische procesanalyse. In het voorliggende interimrapport wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken in april 1982. De doel- stelling van het rapport is het tussentijds informeren van de projektorgani- satie over de stand van zaken.

Het sluizencomplex in de Philipsdam zal bestaan uit twee duwvaartsluizen en twee jachtensluizen. In dit interim-rapport komt alleen de besturing van de duwvaartsluizen aan de orde. Een historisch overzicht met betrekking tot de ontwikkeling van het besturingssysteem voor de Krammersluizen wordt gegeven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 van dit rapport zal de probleemstelling met betrekking tot de waterloopkundig aspecten bij de Krammersluizen nader worden omschreven. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de aanpak en opzet van de hier gerapporteerde studie. De uitgangspunten en randvoorwaarden komen aan de orde in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 wordt vervolgens ingegaan op de gevolgde reken- methodiek. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de resultaten en worden deze ge- evalueerd.

Een overzicht van de stand van zaken wordt gegeven in hoofdstuk 8, waar tevens het nog te verrichten afrondende onderzoek aan de orde komt. In hoofdstuk 9 tenslotte wordt ingegaan op het tijdschema en de kosten.

Het onderzoek is in nauw overleg met WT uitgevoerd en gerapporteerd door ir. J. Kerstma van het Waterloopkundig Laboratorium.

2 Historisch overzicht

Bij de Krammersluizen kan met betrekking tot de waterverplaatsingen tijdens een schutcyclus onderscheid gemaakt worden tussen nivelleren en uitwisselen. Nivelleren bestaat uit het gelijkwater maken tussen sluis en voorhaven. Dit vindt bij iedere schutsluis plaats. Typerend voor de Krammersluizen is, dat bij het gelijkwater maken met het Zoommeer gebruik gemaakt wordt van een hoog en een laag bekken. Tijdens het uitwisselen wordt zout water in de kolk vervangen door zoet water of omgekeerd. Het uitwisselen en nivelleren wordt gerealiseerd door via de in-, uit- of doorlaatriolen zout water aan de kolk te onttrekken of toe te voeren.

In [10] zijn uitgaande van het uitwisselproces drie voor de Krammersluizen in aanmerking komende vormen van besturing onderscheiden. Deze zijn aangeduid met: besturen op basis van "grenslaag volgen", besturen op basis van "grenslaag detektie" en besturen op basis van "debietmeting en volumebepaling". Bij de twee eerstgenoemde wordt, naast debietmeting, gebruik gemaakt van dichtheidsmetingen in de kolk.

In het voorjaar van 1979 is door het direktieteam van de Deltadienst en het coördinatieteam van de compartimenteringswerken besloten zodanige bouwkundige voorzieningen te treffen, dat, indien nodig, de meer uitgebreide besturingssystemen alsnog aangebracht kunnen worden en er vooralsnog van uit te gaan, dat de sluis van een minder uitgebreid besturingssysteem zal worden voorzien. Met betrekking tot de in [10] genoemde besturingssystemen betekent dat, dat moet worden uitgegaan van het besturen op basis van "debietmeting en volumebepaling". Bij dit systeem wordt voorafgaand aan het uitwisselproces de gewenste hoeveelheid uit te wisselen water, het uitwisselvolumen, bepaald. Aangezien bij het nivelleren eveneens een bepaalde hoeveelheid zout water (de schuttschijf of het nivelleervolumen), die voorafgaand aan het nivelleerproces bepaald kan worden, aan de kolk onttrokken of toegevoerd moet worden, kan het voor uitwisselen resterende besturingssysteem ook toegepast worden bij het nivelleren.

Het na de beslissing van het direktie- en coördinatieteam resterende besturingssysteem wordt in [7] het " $\int Q dt$ "-systeem (integraal-Q-dt-systeem) genoemd. Hiermee wordt aangeduid, dat, wanneer het zoutwaterdebiet, dat aan de kolk onttrokken of toegevoerd wordt, als functie van de tijd bekend is, het

verplaatste volume aan zout water bekend is. Omgekeerd geldt, dat, wanneer het volume zout water, dat aan de kolk toegevoerd of onttrokken moet worden, bekend is, een gewenst verloop van het zoutwaterdebiet als functie van de tijd bepaald kan worden. Het zoutwaterdebiet kan momentaan in de riolen worden gemeten tijdens het uitwisselen en nivelleren of worden berekend uit het verval over de riolen, de weerstand van de riolen en een gegeven beweging van de rioolschuiven. Medio 1980 is besloten, dat de debietmeting zal plaatsvinden met behulp van akoestische debietmeters.

Uitgaande van het uitwissel- en nivelleervolume zijn in [7] een aantal mogelijke besturingssystemen aangegeven. Het blijkt, dat deze in grote lijnen uiteenvallen in twee hoofdgroepen. Deze zijn: "sturing op rioolschuif" en "regeling op debiet". Hierbij kan opgemerkt worden, dat besturingssystemen, waarbij sturing op rioolschuif en regeling op debiet gekombineerd worden, ook mogelijk zijn. Onder sturing wordt in dit verband verstaan, dat er tijdens het proces geen terugkoppeling en vergelijking van gewenste en gemeten grootheden plaatsvindt. De bewegingen van de rioolschuiven worden vooraf vastgesteld en tijdens het proces overeenkomstig deze vaststelling uitgevoerd. Bij regeling vindt er wel een terugkoppeling en vergelijking van gewenste en gemeten grootheden plaats. Met betrekking tot een besturingssysteem, dat uitgaat van regeling op een grootheid, kan opgemerkt worden, dat het debiet niet de enige grootheid is, die voor terugkoppeling en vergelijking in aanmerking komt. Hiervoor kan ook het in de tijd geïntegreerde debiet ($\int Q dt$) genomen worden. Een andere mogelijkheid, die alleen bij nivelleren toegepast kan worden, is de kolkwaterstand. De laatste komt vooral in aanmerking bij het regelen van het laatste gedeelte van het nivelleren.

3 Probleemstelling

In het verleden zijn reeds diverse onderzoeken ten behoeve van de Krammersluizen uitgevoerd. In de meeste gevallen waren dit onderzoeken, waarbij enerzijds onderzoek werd verricht aan alternatieve vormgevingen. Anderzijds hadden zij tot doel het inzicht in de hydraulische processen, die zich tijdens het uitwisselen in de kolk afspelen te verdiepen. Daarnaast hebben onderzoeken plaatsgevonden, die specifiek gericht waren op het dimensioneren van bepaalde onderdelen van de sluisen. De resultaten van deze onderzoeken hebben bijgedragen aan de uiteindelijke vormgeving van de Krammersluizen. Een overzicht van de diverse onderzoeken wordt gegeven in appendix A van [1].

Het feit, dat de bovengenoemde onderzoeken voornamelijk op het ontwerp gericht geweest zijn, heeft als konsekwentie, dat de bij die onderzoeken gehanteerde randvoorwaarden hoofdzakelijk betrekking hebben op maximale vervallen, kalamiteitssituaties en dergelijke. Daarnaast zijn in een aantal van de bovengenoemde onderzoeken een aantal situaties bekeken, die betrekking hebben op de bij de Krammersluizen te verwachten gebruiksomstandigheden. Een volledig beeld ten aanzien van de gebruiksomstandigheden ontbreekt echter. In het kader van de besturing is het echter van belang om voor gebruiksomstandigheden inzicht te hebben in het verloop van het schutproces. In tegenstelling tot de in het verleden uitgevoerde onderzoeken, die op bepaalde aspecten waren gericht, moet het besturingsonderzoek integraal gericht zijn.

Van de in het verleden uitgevoerde onderzoeken zullen de in [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8] en [9] gerapporteerde als uitgangspunt voor het hier gerapporteerde onderzoek in het kader van de besturing van de Krammersluizen gehanteerd worden. Voor een aantal resultaten van deze onderzoeken geldt, dat zij niet direkt toepasbaar zijn voor de besturing. Enerzijds ligt de reden hiervoor in het feit, dat bepaalde parameters, die bij onderzoeken zijn gebruikt, op basis van voorlopige schattingen zijn vastgesteld. Voor bijvoorbeeld de hydraulische weerstanden zijn in later stadium meer definitieve schattingen gemaakt. Anderzijds geldt, dat in onderzoeken bepaalde parameters niet zijn meegenomen. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan luchtaanzuiging en schuifkrachten. Bij het onderzoek in het kader van de besturing dienen al deze parameters in hun onderlinge samenhang beschouwd te worden.

4 Opzet en aanpak van de studie

Naar aanleiding van een binnen de werkgroep Besturing Krammersluizen genomen besluit met betrekking tot de aanpak is in eerste instantie begonnen met het nivelleren. In een later studium is het uitwisselen erbij betrokken.

Om te komen tot een hydraulische procesanalyse van in eerste instantie alleen het nivelleren is begonnen met het maken van een inventarisatie van het voor het nivelleren reeds verrichte onderzoek en nog niet uitgezochte zaken. Uitgaande van deze inventarisatie is vervolgens een stroomschema voor het nivelleren opgezet. Bij dit stroomschema is aangegeven wanneer welke problemen opduiken en wanneer welke beslissingen genomen moeten worden. Tevens is met betrekking tot de genoemde punten aangegeven of er al dan geen onderzoek voor is verricht en of nader onderzoek gewenst is. De gemaakte inventarisatie en het opgestelde stroomschema zullen in dit interim-rapport niet expliciet behandeld worden. In de stukken van de werkgroep Besturing Krammersluizen zijn zij te vinden onder BEST 12 en BEST 17.

Op basis van het opgestelde stroomschema en de daarbij gemaakte opmerkingen zijn de volgende hoofdpunten, die gelden voor zowel het nivelleren als het uitwisselen, onderscheiden:

1. vaststellen van de toe te passen debiet- en schuifprogramma's
2. gevoeligheidsanalyse en nauwkeurigheidsonderzoek
3. inpassen van de resultaten van de punten 1 en 2 in het besturings- en/of regelsysteem
4. overige zaken.

Voor wat betreft de werkzaamheden van het Waterloopkundig Laboratorium in het kader van de besturing is aan het eerstgenoemde punt de hoogste prioriteit toegekend. Het voorliggende interim-rapport heeft hoofdzakelijk betrekking op dit eerstgenoemde punt. Bij de aanpak van dit onderdeel is uitgegaan van de in [3] gegeven aanzet (zie hoofdstuk 5). Uiteindelijk heeft dit geresulteerd in een rekenmethodiek, waarmee, rekening houdend met gegeven randvoorwaarden, een realiseerbaar debiet- en schuifprogramma bepaald kan worden. Uitgaande van deze rekenmethodiek is in eerste instantie een rekenmodel voor het nivelleren ontwikkeld. Na het voltooien hiervan is een gelijksoortig rekenmodel voor het uitwisselen opgezet. Binnen de rekenmodellen wordt, uit-

gaande van een gegeven vorm van het debietprogramma, tevens de voor het uitwisselen of nivelleren benodigde tijd geminimaliseerd. De aldus beschikbaar gekomen rekenmethodiek kan toegepast worden in het besturings- en/of regelsysteem van de Krammersluizen.

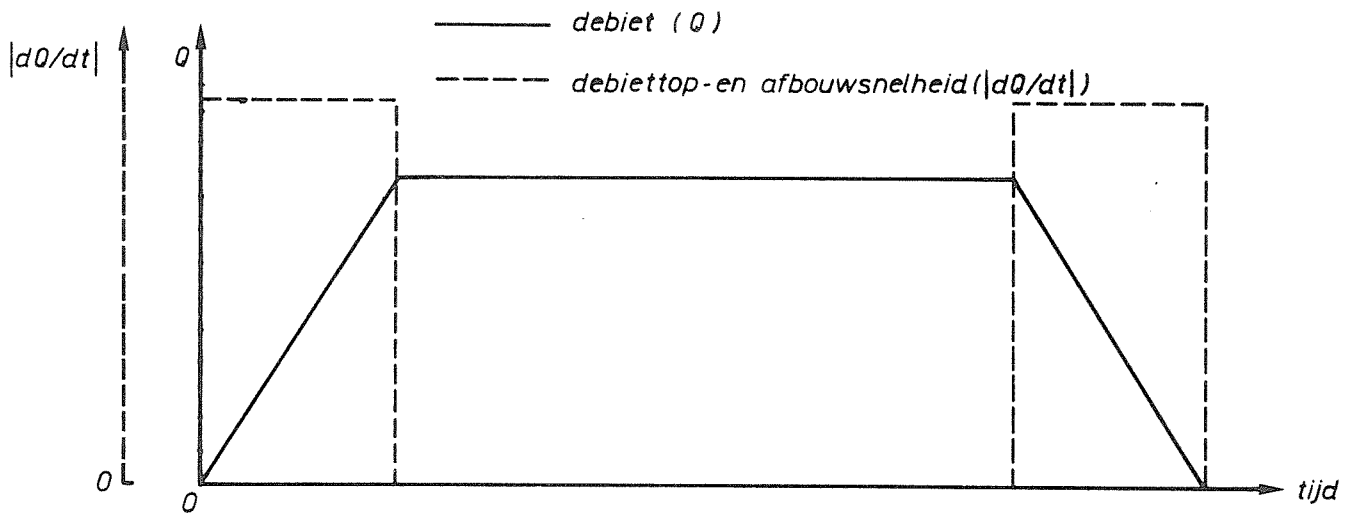
Met behulp van de ontwikkelde rekenmodellen is verder een indruk verkregen over de in het prototype te verwachten uitwissel- en nivelleertijden. Daarnaast kunnen de uit de modellen volgende resultaten gebruikt worden bij in het kader van de besturing of het beheer van de sluizen te nemen beslissingen.

Na het afronden van de werkzaamheden in het kader van de besturing van de duwvaartsluizen zullen de resultaten van het onderzoek in het kader van de jachtensluizen ingepast worden in het besturingssysteem van de jachtensluizen.

5 Uitgangspunten en randvoorwaarden

5.1 Basisdebietprogramma's

In [3] is uitgegaan van de in figuur 5.1 gegeven gewenste vorm van de bij de Krammersluizen toe te passen debietprogramma's. Deze vorm is voor uitwisselen en nivelleren hetzelfde gekozen. De gekozen vorm heeft de volgende kenmerken:



figuur 5.1: Gewenste vorm debietprogramma's.

- een gedeelte, waarin met een konstante snelheid het debiet wordt opgebouwd, totdat het een bepaalde gewenste waarde bereikt
- een gedeelte, waarin het debiet een konstante waarde heeft
- een gedeelte, waarin met een konstante snelheid het debiet wordt afgebouwd
- de debietop- en afbouwsnelheid zijn in absolute waarde aan elkaar gelijk.

Voor de waarden, die het debiet en de debietop- en afbouwsnelheid in de debietprogramma's mogen bereiken zullen te zijner tijd bovengrenzen vastgesteld moeten worden. Afhankelijk van de randvoorwaarden in een bepaalde situatie kunnen deze bovengrenzen voor het debiet en de debietop- en afbouwsnelheid wel of niet gehaald worden.

Bij de in eerste instantie aangenomen vorm van de debietprogramma's (zie fig. 5.1) treden bij de knikpunten in het debietverloop diskontinuiteiten in het verloop van de schuifbeweging op. In [3] zijn daarom de knikpunten in het debietverloop afgerond. Wanneer de tijdsduren, waarover de afrondingen zich uitstrekken erg klein gehouden worden, zullen er grote pieken optreden in het verloop van de schuifsneldheid. De uiteindelijk tijdsduren voor de afrondingen

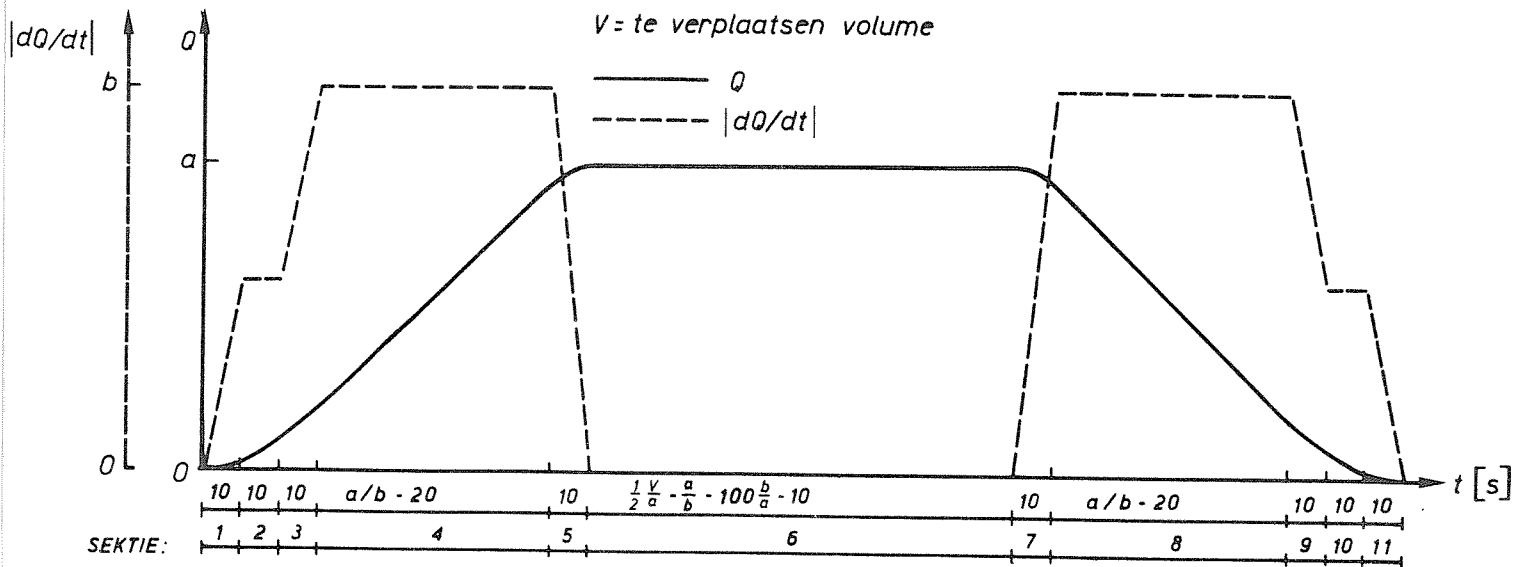


FIG. 5.2.a BASISDEBIETPROGRAMMA 1

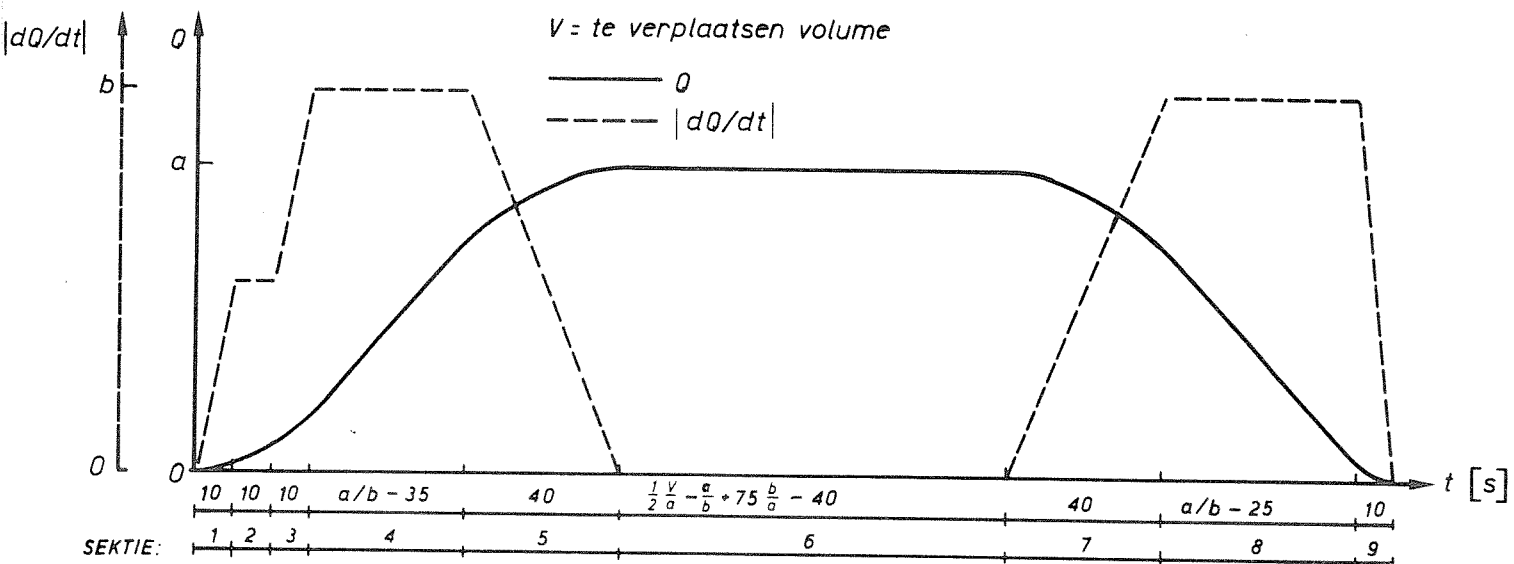


FIG. 5.2.b BASISDEBIETPROGRAMMA 2

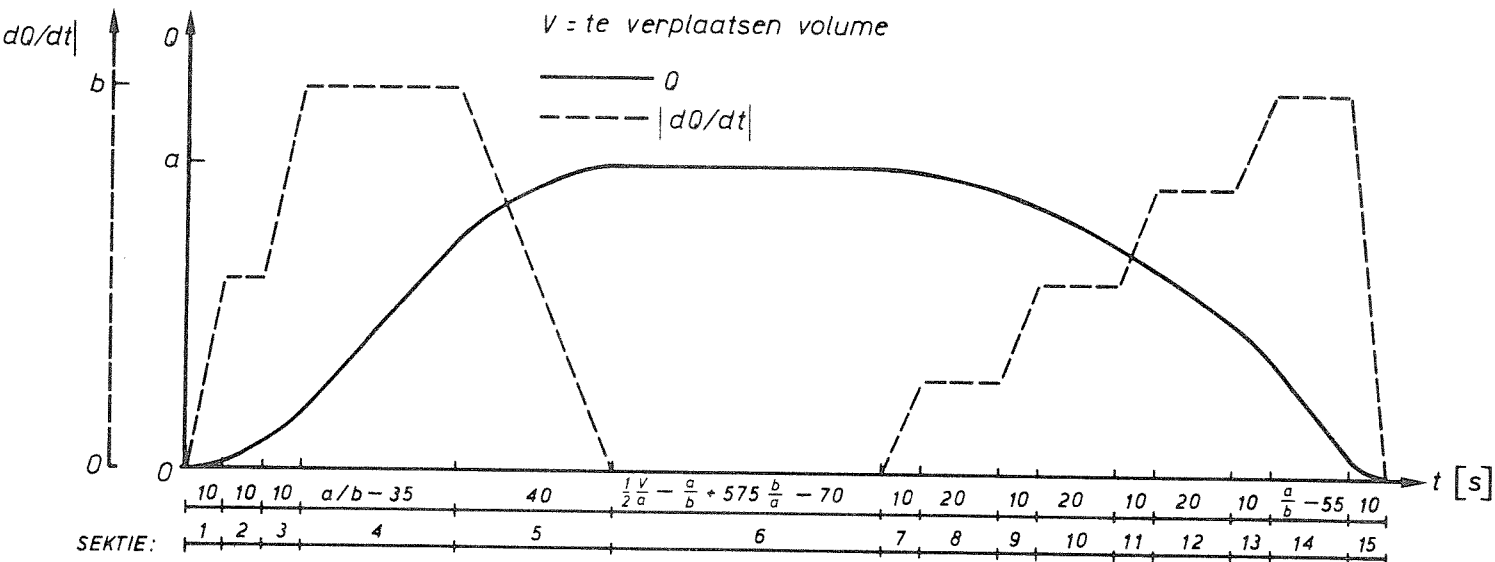


FIG. 5.2.c BASISDEBIETPROGRAMMA 3

FIG. 5.2. BASISDEBIETPROGRAMMA'S

zijn bepaald door het binnen zekere grenzen houden van de pieken in het schuifsnelheidsverloop. Voor het uitwisselen resulteerde dit in de in figuur 5.2a gegeven vorm van het debietprogramma. De voor het nivelleren resulterende vorm is gegeven in figuur 5.2b. Verder bleek in [3], dat het meer gefaseerd afbouwen van het debiet in bepaalde gevallen kortere nivelleertijden opleverde. De hierbij behorende vorm van het debietprogramma is weer gegeven in figuur 5.2c. Deze drie vormen, die alle zijn afgeleid van de in figuur 5.1 gegeven vorm, zullen in het vervolg van dit rapport worden aangeduid met basisdebietprogramma's. Het met één van de basisdebietprogramma's in een bepaalde situatie te realiseren debietverloop wordt bepaald door de randvoorwaarden. Hieruit volgt de waarde voor het debiet, die haalbaar is en de waarde van de debietop- en afbouwsnelheid, die haalbaar is (zie paragraaf 2 van dit hoofdstuk). Deze waarden worden per riool aangeduid met respectievelijk a en b (zie fig. 5.2).

De basisdebietprogramma's zijn in een aantal sekties verdeeld (fig. 5.2). In elke sektie geldt, dat de tweede afgeleide van het debiet naar de tijd (d^2Q/dt^2) konstant is. Met betrekking tot de tijdsduren geldt, dat elk basisdebietprogramma twee sekties heeft, waarvan de duur bepaald wordt door de verhouding tussen het haalbare debiet (a) en de haalbare debietop- en afbouwsnelheid (b). Het betreft hier de sekties, waarin de debietop- en afbouwsnelheid een konstante maximale waarde heeft. De duur van de sektie in elk basisdebietprogramma, waarin het debiet een konstante maximale waarde heeft, wordt bepaald door de te verplaatsen hoeveelheid water en de verhouding tussen het haalbare debiet en de haalbare debietop- en afbouwsnelheid. Tussen de te verplaatsen hoeveelheid water en de daarvoor benodigde tijd kunnen voor de respectieve basisdebietprogramma's de volgende relaties afgeleid worden:

$$\text{basisdebietprogramma 1: } t_v = \frac{1}{2} \frac{V}{a} + \frac{a}{b} - 100 \frac{b}{a} + 30 \quad (5.1a)$$

(fig. 5.2a)

$$\text{basisdebietprogramma 2: } t_v = \frac{1}{2} \frac{V}{a} + \frac{a}{b} + 75 \frac{b}{a} + 20 \quad (5.1b)$$

(fig. 5.2b)

$$\text{basisdebietprogramma 3: } t_v = \frac{1}{2} \frac{V}{a} + \frac{1}{b} + 575 \frac{b}{a} + 20 \quad (5.1c)$$

(fig. 5.2c)

waarin: t_v = benodigde uitwissel- of nivelleertijd [s]

V = te verplaatsen hoeveelheid water

a = haalbare debiet per riool

b = haalbare debietop- en afbouwsnelheid per riool

Aangezien de konstante termen in deze vergelijkingen niet dimensieloos zijn, maar zijn afgeleid voor de tijd uitgedrukt in seconden, moet bij het gebruik van deze vergelijkingen de tijd zijn uitgedrukt in seconden.

Het verloop van de eerste drie sekties van elk basisdebietprogramma is hetzelfde. Ergens in deze sekties ligt het tijdstip, waarop de rioolschuif vertikaal begint te bewegen.

Hoewel basisdebietprogramma 1 is ontwikkeld voor het uitwisselen en de basisdebietprogramma's 2 en 3 voor het nivelleren, kunnen zij alle drie zowel voor het nivelleren als uitwisselen gebruikt worden.

5.2 Hydraulische en mechanische beperkingen

5.2.1 Haalbare debiet en haalbare debietop- en afbouwsnelheid

Wil een bepaald debietverloop gerealiseerd kunnen worden, dan zal op elk tijdstip aan de volgende voorwaarde voldaan moeten worden:

$$\Delta h_t \geq \xi_r \frac{Q^2(t)}{2gA_r^2} + \frac{L}{gA_r} \left(\frac{dQ}{dt} \right)_t \quad (5.2)$$

waarin: Δh_t = verval op tijdstip t

ξ_r = rioolweerstandskoefficiënt

$Q(t)$ = debiet per riool op tijdstip t

g = versnelling ten gevolge van de zwaartekracht

A_r = riooldoorsnede ter plaatse van de schuif

L = rioollengte

$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_t$ = debietop- of afbouwsnelheid per riool op tijdstip t

In de ontwikkelde rekenmodellen wordt niet op elk tijdstip op deze voorwaarde gecontroleerd, maar zijn een beperkt aantal controlepunten gekozen (zie hoofdstuk 6). Ten aanzien van de gekozen punten geldt, dat er gevallen bestaan, waarin het maatgevende tijdstip tussen twee van de gekozen controlepunten inligt. Het verdient aanbeveling dit te zijner tijd nader uit te werken.

Elk basisdebietprogramma heeft drie sekties, waarvan de duur niet op voorhand vastligt. Hiervoor geldt, dat de duur van een dergelijke sektie niet negatief mag worden. Ook is het mogelijk, dat bijvoorbeeld in verband met het te kiezen regelsysteem wordt voorgeschreven, dat een dergelijke sektie een bepaalde minimum duur moet hebben. Dit heeft invloed op het te realiseren debiet en de te realiseren debietop- en afbouwsnelheid.

5.2.2 Maximale rioolschuifsnelheid

Wanneer rekening houdend met de in de vorige paragraaf genoemde controles een te realiseren debietverloop is vastgesteld, kan de schuifbeweging, die hierbij hoort, bepaald worden. Hiervoor wordt uitgegaan van de bewegingsvergelijking voor een riool:

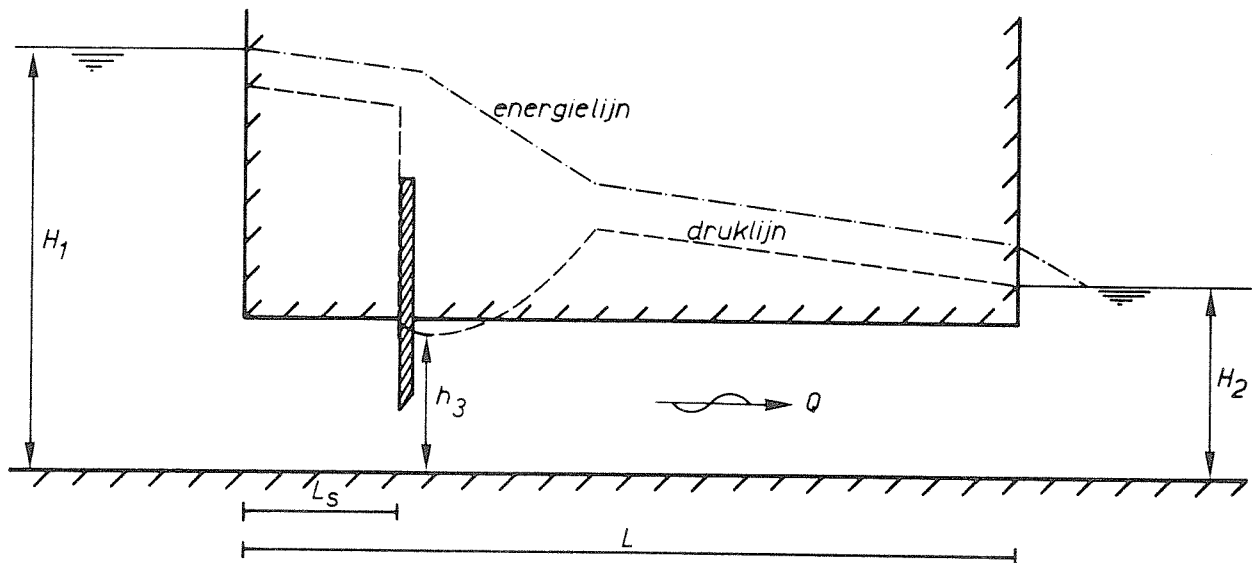
$$\Delta h_t = (\xi_r + \xi_s) \frac{Q^2(t)}{2gA_r^2} + \frac{L}{gA_r} \left(\frac{dQ}{dt}\right)_t \quad (5.3)$$

waarin ξ_s de weerstandskoefficiënt van de rioolschuif is. Wanneer het debietverloop als funktie van de tijd bekend is, kan het verloop van ξ_s als funktie van de tijd uit vergelijking (5.3) bepaald worden. Via de relatie tussen de schuifweerstandskoefficiënt en de schuifopening kan vervolgens het verloop van de schuifopening als funktie van de tijd bepaald worden. Hiermee ligt dan ook de schuifsnelheid als funktie van de tijd vast. Met betrekking tot de schuifsnelheid dient gecontroleerd te worden of de maximale snelheid van 0,06 m/s niet overschreden wordt. In de ontwikkelde rekenmodellen wordt dit niet voor elk tijdstip gedaan. Daar wordt steeds de gemiddelde schuifsnelheid in een sektie bepaald, waarna nagegaan wordt of deze de 0,06 m/s niet overschrijdt. Is dit het geval, dan moet het debietverloop aangepast worden.

5.2.3 Luchtaanzuiging

Bij gedeeltelijk geopende rioolschuiven zal het water daar ter plaatse een relatief hoge snelheid hebben. Ten gevolge hiervan treedt achter de schuiven een drukverlaging op (zie fig. 5.3). Wanneer deze drukverlaging zo groot is, dat het drukniveau beneden het niveau, komt, waarop het plafond van het riool zich bevindt, zal er lucht aangezogen worden.

Voor gevallen, waarin de schuif zich aan de benedenstroomse kant van het riool bevindt, wordt van luchtaanzuiging geen gevaar verwacht. Bij de Krammersluizen is dit het geval, wanneer gestroomd wordt via de uitlaatriolen of wanneer de stroming in de doorlaatriolen richting kanaal Slaak gaat. Voor de riolen, waarbij de schuiven zich aan de bovenstroomse kant bevinden, is bij de Krammersluizen de eis gesteld dat geen luchtaanzuiging op mag treden. Het gaat hierbij om de inlaatriolen en de doorlaatriolen, wanneer de stroming in de richting van de kolk is. Bij het optreden van luchtaanzuiging zal zich achter de schuif een luchtbel vormen. Het weer opvullen van deze luchtbel kan zeer grote klappen op de schuif tot gevolg hebben, terwijl het meevoeren van de luchtbel door de waterstroom het schutproces kan verstoren.



figuur 5.3: Definitieschets luchtaanzuiging

In [2] is nagegaan hoe diep de plafonds van de in- en doorlaatriolen gelegd moesten worden om het optreden van luchtaanzuiging tegen te gaan. In deze studie is gewerkt met een aantal voorlopige schattingen voor bepaalde groot-heden en zijn bepaalde mogelijke kalamiteitssituaties in overleg met de opdrachtgever buiten beschouwing gelaten. Tevens is in deze studie het opwaarts uitwisselen niet meegenomen. In [6] is uitgaande van meer definitieve gegevens en alle denkbare kalamiteitssituaties luchtaanzuiging ook bekeken. De resultaten van deze studie gaven aanleiding tot de vraag of het mogelijk was, dat er tijdens gebruiksomstandigheden luchtaanzuiging op zou treden. Indien dit het geval zou zijn, zou hier rekening mee gehouden moeten worden bij het vaststellen van de toe te passen debiet- en schuifprogramma's voor gebruiksomstandigheden.

De drukhoogte achter de schuif kan met behulp van de onderstaande vergelijking gerelateerd worden aan de bovenstroomse waterstand:

$$h_3 = H_1 - \left(\xi_i + \frac{L_s}{L} \xi_r + \xi_s + 1 + 2\sqrt{\xi_s} \right) \frac{Q^2}{2gA_r^2} - \frac{L_s}{gA_r} \frac{dQ}{dt} \quad (5.4)$$

waarin: h_3 = drukhoogte achter de schuif

H_1 = bovenstroomse waterstand = energiehoogte bovenstrooms

ξ_i = intreeverlies

L_s = lengte van het riool bovenstrooms van de schuif

voor de overige symbolen wordt verwezen naar de voorgaande vergelijkingen.

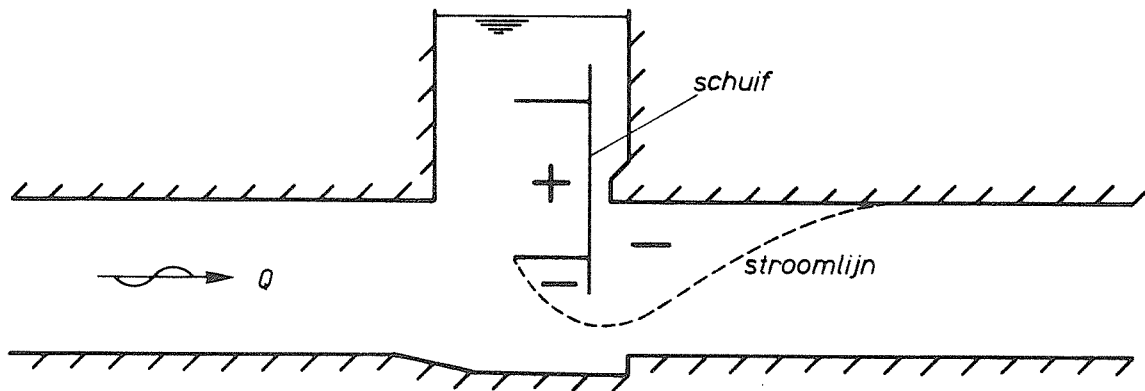
Bij de riolen van de Krammersluizen met de schuiven aan de bovenstroomse zijde zijn de termen met L_s verwaarloosbaar ten opzichte van de overige termen. Verwaarlozen van deze termen en van het intreeverlies levert de volgende vergelijking voor de drukhoogte achter de schuif:

$$h_3 = H_1 - \left(\xi_s + 1 + 2\sqrt{\xi_s} \right) \frac{Q^2}{2gA_r^2} \quad (5.5)$$

Met behulp van deze vergelijking wordt in de ontwikkelde rekenmodellen de drukhoogte achter de schuif bepaald, wanneer er water in de kolk gelaten wordt via de in- of doorlaatriolen. De berekening wordt niet voor elk tijdstip uitgevoerd, maar alleen voor de tijdstippen, die de overgang tussen twee sekties vormen.

5.2.4 Schuifkrachten

In [6] is nagegaan welke krachten maximaal op de rioolschuiven kunnen werken tijdens kalamiteitsomstandigheden. Hierop zijn de schuiven gedimensioneerd. In verband met vermoeiing mogen de maximale krachten slechts zeer incidenteel optreden. Voor gebruiksomstandigheden is daarom een lagere kracht toegestaan dan de maximale kracht, waarop de schuiven ontworpen zijn. Het hiervoor gestelde geldt bij de Krammersluizen alleen voor de op de schuiven uitgeoefende verticale krachten. Deze mogen onder gebruiksomstandigheden niet meer zijn dan 180 kN. De horizontale krachten vormen geen beperkende randvoorwaarde.



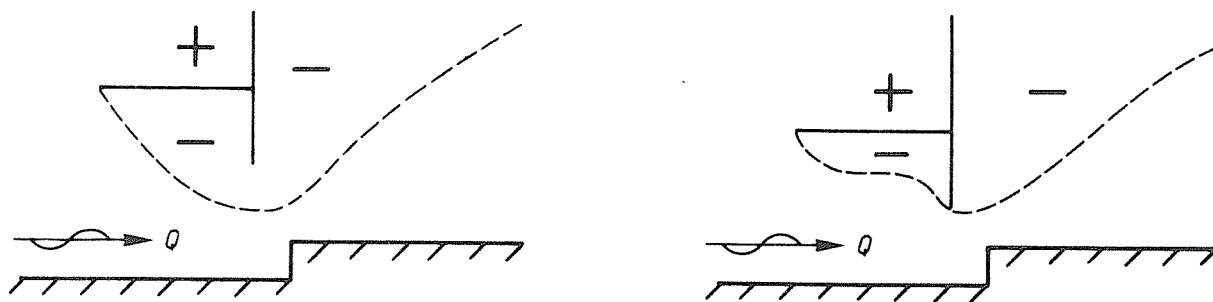
figuur 5.4: Schematische doorsnede schuivenhuis

In figuur 5.4 is schematisch aangegeven hoe een doorsnede over een schuivenhuis bij de Krammersluizen er uitziet. De door het water op de schuif uitgeoefende verticale kracht wordt veroorzaakt door de horizontale liggers van de schuif. Aan de bovenzijde van de onderste ligger heerst een zekere overdraken ten gevolge van de stromingsdruk. De onderzijde van deze ligger bevindt zich in de neer, die ontstaat door het loslaten van de stroming. In deze neer heerst een zekere onderdruk. Wanneer het riool benedenstrooms van de schuif zover doorloopt, dat de stroming weer aan gaat liggen aan het plafond van het riool kan uit de in figuur 5.4 optredende drukverdeling rond de schuif voor de verticale kracht worden afgeleid:

$$F_v = (\xi_F + 1 + 2\sqrt{\xi_F}) \frac{Q^2}{2gA_r^2} \rho g A_L \quad (5.6)$$

waarin: F_v = door het water op de schuif uitgeoefende verticale kracht
 ρ = dichtheid van het water
 A_L = oppervlak van een schuifligger
 ξ_F = schuifweerstandskoefficiënt, wanneer de stroming na de schuif weer aan kan gaan liggen aan het plafond.

Op vergelijking (5.6) kunnen twee korrekties aangebracht worden. De eerste correctie komt voort uit het feit, dat het water niet alleen onder de schuif door zal stromen, maar er ook een lekdebië via de schacht over de schuif heen loopt. Hiervoor wordt een korrektiekoefficiënt ϵ ingevoerd, die een functie van de schuifopening is. De tweede correctie hangt samen met het stroombeeld onder schuif bij kleine schuifopeningen (zie fig. 5.5).

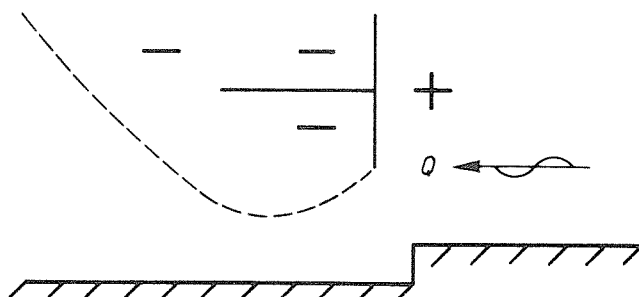


figuur 5.5: Stroombeeld onder de schuif bij verschillende schuifopeningen

Bij kleine schuifopeningen zal de stroming na de ligger de beplating van de schuif raken. Ten opzichte van de situatie, waarin dit niet plaatsvindt zal dit de onderdruk onder de onderste ligger reduceren. Hiervoor wordt een van de schuifopening afhankelijke korrektiefactor η ingevoerd. De verticale kracht kan dan bepaald worden uit de volgende vergelijking:

$$F_v = (\xi_F + 1 + 2\sqrt{\xi_F}) (\eta + \varepsilon - 1) \frac{Q^2}{2gA_r^2} \rho g A_L \quad (5.7)$$

In het voorgaande is er steeds van uitgegaan, dat de liggers zich aan de bovenstroomse zijde van de schuif bevinden. Voor het in- en uitlaatwerk is dit juist. De schuiven in het doorlaatwerk kunnen echter van twee kanten aangestroomd worden. Wanneer er via het doorlaatwerk water naar de kolk toegevoegd wordt, dat wordt de doorlaatschuif op hiervoor aangenomen wijze aangestroomd en kan de verticale kracht met vergelijking (5.7) bepaald worden. In het andere geval, wanneer er water aan de kolk onttrokken wordt via het doorlaatriool, liggen de liggers geheel in de neer achter de schuif (zie fig. 5.6). Over de liggers ontstaat dan geen drukverschil, zodat de verticale kracht op de schuif dan nul is.



figuur 5.6: Stroombeeld bij doorlaatschuif, wanneer water aan de kolk onttrokken wordt

6 Opzet rekenmodellen

6.1 Inleiding

In hoofdstuk 5 is aangegeven, waarvan wordt uitgegaan bij het vaststellen van de toe te passen debiet- en schuifprogramma's en aan welke voorwaarden deze programma's moeten voldoen. In dit hoofdstuk wordt dit aan de hand van basis-debietprogramma 2 nader uitgewerkt. Hierbij zal onderscheid worden gemaakt tussen nivelleren en uitwisselen. Als eerste zal ingegaan worden op het voor het nivelleren ontwikkelde rekenmodel. Het rekenmodel voor het uitwisselen, dat daarna behandeld wordt, is afgeleid van het model voor het nivelleren, maar vertoont hiermee enige verschillen.

6.2 Rekenmodel voor nivelleren

6.2.1 Invoergegevens

Het stroomschema van het rekenmodel voor nivelleren, dat NIVDUW (NIVelleren DUWvaartsluizen) is genoemd, is gegeven in de figuren 1 en 2. Voor met het bepalen van het toe te passen debiet- en schuifprogramma begonnen kan worden, moeten een aantal gegevens ingevoerd worden. Van een aantal gegevens wordt gecontroleerd of zij binnen de voorgeschreven grenzen vallen. Afhankelijk van bepaalde ingevoerde gegevens moeten andere aanvullende gegevens ingevoerd worden. De organisatie hiervan is weergegeven in figuur 1. Met betrekking tot de mate van aangroei kan opgemerkt worden, dat deze in het prototype geleidelijk zal toenemen in de tijd. In het rekenmodel is de keus beperkt tot niet of geheel aangegroeid.

6.2.2 Kiezen en bepalen van de van toepassing zijnde grootheden

Na het invoeren van de invoergegevens kunnen een aantal grootheden gekozen en bepaald worden, die nodig zijn voor het vaststellen van het toe te passen debiet- en schuifprogramma. Wanneer de schutrichting, de waterstanden op Zoommeer en Zijpe, de mate van aangroei en de kolk waarom het gaat bekend zijn, kunnen uit het databestand de van toepassing zijnde rioolweerstand en rioollengte gekozen worden (zie tabel I). Hieruit volgt tevens of gebruik gemaakt moet worden van het in-, uit- of doorlaatwerk, zodat ook de van toepassing zijnde schuifweerstandentabel gekozen kan worden (zie tabel II).

Voor het bepalen van de krachten op de schuiven wordt steeds gebruik gemaakt van schuifweerstandskoefficienten, die horen bij het vullen via het in- of doorlaatwerk.

Bij het bepalen van het aandrijvende verval en het nivelleervolume moet rekening gehouden worden met de schutrichting. Wanneer richting Zoommeer geschut wordt, wordt er met behulp van één van de bekkens genivelleerd. Aannemende dat het water in de kolk dan dezelfde dichtheid heeft als het water in de bekkens, volgt het aandrijvende verval bij het begin van het nivelleren uit het waterstandsverschil tussen de kolk en het bekken bij het begin van het nivelleren:

$$\Delta h_o = |h_k - h_b| \quad (6.1a)$$

waarin: Δh_o = aandrijvende verval bij het begin van het nivelleren
 h_k = kolkwaterstand bij het begin van het nivelleren
 h_b = bekkenwaterstand bij het begin van het nivelleren

Het nivelleervolume volgt bij schutten richting Zoommeer uit het kolkoppervlak en de waterstanden in de kolk en op het Zoommeer bij het begin van het nivelleren:

$$V_n = |h_k - h_{zm}| \times A_k \quad (6.2a)$$

waarin: V_n = nivelleervolume
 h_{zm} = waterstand op het Zoommeer
 A_k = kolkoppervlak

In het rekenmodel wordt de kolkwaterstand niet apart ingevoerd. Deze wordt bij het begin van het nivelleren verondersteld gelijk te zijn aan de Zijpe-waterstand. Verder geldt, dat in de rekenmodellen met een over de hoogte konstant kolkoppervlak van 7900 m^2 wordt gerekend. In werkelijkheid is het kolkoppervlak een functie van de hoogte.

Wanneer er richting Zijpe geschut wordt, wordt er genivelleerd met behulp van de doorlaatriolen. Er moet dan rekening gehouden worden met het in de kolk aanwezige zoete water. Het aandrijvende verval bij het begin van het nivelleren volgt dan uit het dichtheidsverschil tussen het zoute en zoete

water, de hoogte van de schijf zoet water in de kolk en het waterstandsverschil tussen de kolk en het Zijpe:

$$\Delta h_o = |h_{\text{zijpe}} - h_k + \frac{\Delta\rho}{\rho_s} h_f| \quad (6.1b)$$

waarin: h_{zijpe} = waterstand op het Zijpe bij het begin van het nivelleren
 $\Delta\rho$ = dichtheidsverschil tussen het zoute en zoete water
 ρ_s = dichtheid van het zoute water
 h_f = hoogte van de schijf zoet water in de kolk

Zoals met vergelijking (6.1b) valt in te zien, resteert er in de evenwichts-situatie een waterstandsverschil tussen de kolk en het Zijpe. De waterstand in de kolk staat dan $(\Delta\rho/\rho_s) \times h_f$ hoger dan op het Zijpe. Afgezien van de mogelijkheid om gebruik te maken van doorslingereffekten bij beginvervallen, die groot genoeg zijn, kan er in de situaties, waarin de waterstand op het Zoommeer hoger is dan op het Zijpe, niet volledig genivelleerd worden via de doorlaatriolen. Bij de bepaling van het nivelleervolume wordt hier in het rekenmodel rekening mee gehouden:

$$V_n = |h_{\text{zijpe}} - h_k + (\Delta\rho/\rho_s)h_f| \times A_k \quad \text{als } h_k - h_{\text{zijpe}} > (\Delta\rho/\rho_s)h_f \quad (6.2b)$$

$$V_n = |h_{\text{zijpe}} - h_k| \times A_k \quad \text{als } h_k - h_{\text{zijpe}} < 0$$

In de rekenmodellen wordt geen onderscheid gemaakt tussen de waterstand op het Zijpe en de waterstand op kanaal Slaak. Wordt dit wel gedaan, dan moet in vergelijking (6.1b) de waterstand op kanaal Slaak worden gesubstitueerd.

Als oplossing voor het resterende waterstandsverschil is gekozen het voortrekken van de roldeur.

6.2.3 Vaststellen debiet- en schuifprogramma

6.2.3.1 Haalbare debiet en haalbare debietop- en afbouwsnelheid

In het hierna volgende zal het vaststellen van het toe te passen debiet- en schuifprogramma aan de hand van basisdebietprogramma 2 nader worden uitgewerkt. Voor de twee andere basisdebietprogramma's verloopt het bepalen van

het debiet- en schuifprogramma op dezelfde wijze. Het stroomschema, dat hierbij hoort, is gegeven in figuur 2.

In paragraaf 2.1 van hoofdstuk 5 is gesteld, dat wil een bepaald debietverloop gerealiseerd kunnen, dat dan op elk tijdstip aan vergelijking (5.2) voldaan moet worden. In het rekenmodel wordt op drie tijdstippen gecontroleerd of aan deze voorwaarde wordt voldaan. Deze tijdstippen vallen voor basisdebietprogramma 2 samen met het eind van de sekties 4, 6 en 7 (zie fig. 5.2b). Aan het eind van deze sekties zijn de volgende hoeveelheden water verplaatst:

$$V_4 = \int_0^{t_4} Q dt = \frac{1}{2} \frac{a^2}{b} - 20a + \frac{1525}{6} b \quad (6.3)$$

$$V_6 = \int_0^{t_6} Q dt = \frac{1}{2} V_n - \frac{1}{2} \frac{a^2}{b} - 20a + \frac{375}{6} b \quad (6.4)$$

$$V_7 = \int_0^{t_7} Q dt = \frac{1}{2} V_n - \frac{1}{2} \frac{a^2}{b} + 20a - \frac{1225}{6} b \quad (6.5)$$

Voor het aandrijvende verval aan het eind van de sekties 4, 6 en 7 geldt dan:

$$\Delta h_4 = \Delta h_o - 2 V_4 / A_k \quad (6.6)$$

$$\Delta h_6 = \Delta h_o - 2 V_6 / A_k \quad (6.7)$$

$$\Delta h_7 = \Delta h_o - 2 V_7 / A_k \quad (6.8)$$

Aan het eind van sektie 4 heeft het debiet per riool een grootte van $(a-20b)$ en de debietopbouwsnelheid een grootte b . Dit samen met de vergelijkingen (6.3) en (6.6) gesubstitueerd in vergelijking (5.2) geeft:

$$(WA_k b + 1)a^2 - 40b(WA_k + 1)a + 400 WA_k b^3 + TA_k b^2 + \frac{1525}{3} b^2 - \Delta h_o A_k b \leq 0 \quad (6.9)$$

waarin: $W = \frac{\xi_r}{2gA_r^2}$ en $T = \frac{L}{gA_r}$

Aan het eind van sektie 6 hebben het debiet en de debietopbouwsnelheid een waarde van respectievelijk a en o . Dit samen met de vergelijkingen (6.4) en (6.7) in vergelijking (5.2) geeft:

$$(WA_k b - 1)a^2 - 40 b a + 125 b^2 + V_n b - \Delta h_o A_k b \leq 0 \quad (6.10)$$

Aan het eind van sectie 7 hebben het debiet en de debietafbouwsnelheid een waarde van respectievelijk $(a - 20b)$ en $-b$. Dit samen met de vergelijkingen (6.5) en (6.8) in vergelijking (5.2) geeft:

$$(WA_k b - 1)a^2 - 40b(WA_k b - 1)a + 400 WA_k b^3 - TA_k b^2 - \frac{1225}{3} b^2 + V_n b - \Delta h_o A_k b \leq 0 \quad (6.11)$$

Ten aanzien van de duur van sectie 6 wordt gesteld, dat deze niet korter mag duren dan t^* seconden. De duur van sectie 6 wordt gegeven door (zie fig. 5.2b):

$$\Delta t_6 = \frac{1}{2} \frac{V_n}{a} - \frac{a}{b} + 75 \frac{b}{a} - 40 \quad (6.12)$$

De voorwaarde, waaraan voldaan moet worden, wordt dan:

$$a^2 + (40 + t^*)ba - 75b^2 - \frac{1}{2} V_n b \leq 0 \quad (6.13)$$

Verder geldt, dat de tijdsduren van de secties 4 en 8 niet negatief mogen worden. Sectie 4 stelt wat dit betreft de zwaarste eis, zodat moet gelden:

$$a/b - 35 \geq 0 \quad (6.14)$$

In het rekenmodel worden bij het begin van de berekening het haalbare debiet en de haalbare debietop- en afbouwsnelheid gelijk gesteld aan de gekozen bovengrenzen. Deze worden per riool respectievelijk A en B genoemd, zodat dan geldt:

$$a = A \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{en} \quad b = B \text{ m}^3/\text{s}^2 \quad (6.15)$$

Met deze waarden voor a en b wordt vervolgens nagegaan of voldaan wordt aan de vergelijkingen (6.9), (6.10), (6.11) en (6.13). Wanneer aan één van deze vergelijkingen niet voldaan wordt, dan wordt in eerste instantie bij een gelijk blijvende waarde van b nagegaan of een a gevonden kan worden, waarvoor wel aan de vergelijking voldaan wordt. Uit de gedaante van de vergelijkingen blijkt, dat dit het vinden van de wortels van een vierkantsvergelijking is. Wanneer geen wortels gevonden kunnen worden, wordt de debietop- en afbouwsnelheid verlaagd. Het debiet wordt daarbij weer op $A \text{ m}^3/\text{s}$ per riool gesteld en er wordt opnieuw nagegaan of aan de vergelijkingen voldaan wordt. Wanneer de vierkants-

vergelijking oplosbaar is, wordt met de aldus verkregen a nagegaan of aan vergelijking (6.14) voldaan wordt. Is dit niet het geval, dan moet de debietop- en afbouwsnelheid verlaagd worden.

Na het op bovenstaande wijze bepalen van een combinatie van debiet en debietop- en afbouwsnelheid, waarvoor aan de vergelijkingen (6.9), (6.10), (6.11), (6.13) en (6.14) wordt voldaan, wordt de hierbij behorende schuifbeweging schematisch bepaald.

6.2.3.2 Maximale rioolschuifsnelheid

Om de rioolschuifbeweging schematisch te bepalen wordt aan het eind van elke sectie de vereiste schuifweerstand ξ_s uit vergelijking (5.3) bepaald. Met behulp van één van de tabellen voor de schuifweerstand (zie tabel II) en via interpolatie tussen de gegeven waarden in de tabel kan vervolgens de vereiste schuifopening aan het eind van elke sectie bepaald worden. De in een sectie benodigde gemiddelde schuifsnelheid wordt bepaald uit de schuifopening aan het begin en het eind van de sectie en de duur van de sectie.

Van deze schuifsnelheden wordt nagegaan of zij de 0,06 m/s niet overschrijden. Wanneer dit wel het geval is, wordt ook hier in eerste instantie nagegaan of er bij een gelijk blijvende debietop- en afbouwsnelheid een debiet te vinden is, waarvoor de schuifsnelheden beneden de 0,06 m/s blijven. Deze voorwaarde is echter niet uit te drukken in een vierkantsvergelijking, zodat gebruik gemaakt wordt van een iteratieproces. Wel kan vrij snel nagegaan worden of er bij de gegeven debietop- en afbouwsnelheid een debiet gevonden kan worden, waarvoor de schuifsnelheden beneden de 0,06 m/s blijven. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van vergelijking (6.14). Deze vergelijking schrijft namelijk bij een gegeven debietop- en afbouwsnelheid een minimum waarde voor het debiet voor. Worden voor deze waarde van het debiet de schuifsnelheden overschreden dan moet de debietop- en afbouwsnelheid verlaagd worden. Is dit het geval, dan wordt het debiet weer gelijk aan de bovengrens gesteld, waarna weer begonnen wordt met het controleren op de in de vorige paragraaf gegeven voorwaarden.

6.2.3.3 Luchtaanzuiging en schuifkrachten

In [6] is de maximale verticale kracht bepaald, die onder kalamiteitsomstandigheden door het water op de rioolschuiven uitgeoefend wordt. Als randvoorwaarde is hierbij gehanteerd, dat er geen luchtaanzuiging op mag treden. Uit de resul-

taten in [6] blijkt, dat bij extreme omstandigheden het optreden van de maximale verticale kracht samenvalt met het net niet optreden van luchtaanzuiging. Op grond hiervan is aangenomen, dat een bruikbare hypothese zal zijn, dat, wanneer voor gebruiksomstandigheden de toegestane verticale kracht kleiner is dan de maximaal mogelijke kracht, onder gebruiksomstandigheden geen luchtaanzuiging op zal treden. Dit is bevestigd door een aantal met de rekenmodellen voor nivelleren en uitwisselen uitgevoerde oriënterende berekeningen. Op grond hiervan is besloten in de rekenmodellen geen controle op het optreden van luchtaanzuiging uit te voeren. Wel wordt, wanneer er water in de kolk gelaten wordt via de in- of doorlaatriolen, de drukhoogte achter de schuif aan het eind van elke sectie bepaald.

Aan het eind van elke sectie wordt, behalve wanneer er via de doorlaatriolen water aan de kolk onttrokken wordt, de verticale kracht op de schuif bepaald met behulp van vergelijking (5.7). In de gevallen, waarin er via de in- of doorlaatriolen water naar de kolk toe wordt gevoerd, is de weerstandskoeffi- ciënt ξ_F in deze vergelijking gelijk aan de waarde van ξ_S , die volgt uit vergelijking (5.3). Wordt er gestroomd via de uitlaatriolen, dan moet ξ_F bepaald worden via de schuifopening, die volgt uit de uit vergelijking (5.3) volgende ξ_S . De verticale krachten mogen de 180 kN niet overschrijden. Wanneer dit wel het geval is, wordt het debietprogramma via dezelfde weg aangepast, die is gevolgd bij een overschrijding van de maximale schuifsnelheid.

6.2.3.4 Nivelleertijd

In de voorgaande paragrafen is aangegeven, hoe uitgaande van een basisdebietprogramma een te realiseren debietverloop bepaald wordt. In feite wordt hierbij de maximaal haalbare debietop- en afbouwsnelheid bepaald, waarbij nog een debiet gevonden wordt, waarmee aan alle voorwaarden voldaan wordt. Er zijn echter ook andere combinaties van a en b mogelijk. Om na te gaan of een andere combinatie een kortere nivelleertijd oplevert, wordt, wanneer éénmaal een combinatie gevonden is, die uitvoerbaar is, de debietop- en afbouwsnelheid b verlaagd en wordt het hierbij behorende debiet a bepaald. Vervolgens wordt van deze nieuwe combinatie de benodigde nivelleertijd bepaald. Wanneer deze korter is dan de eerst benodigde nivelleertijd, dan wordt de procedure herhaald. Dit wordt net zo lang gedaan tot geen verdere afname van de nivelleertijd gevonden wordt. Hiermee liggen dan de debietop- en afbouwsnelheid b en het debiet a, waarmee het basisdebietprogramma uitgevoerd moet worden, vast. Met deze proce-

dure wordt in sommige gevallen aan aanzienlijke reductie van de in eerste instantie bepaalde nivelleertijd bereikt.

Aan de hierboven geschetste procedure ligt de tot op heden niet geverifieerde aanname ten grondslag, dat op deze wijze de bij een basisdebitprogramma behorende kortste nivelleertijd wordt gevonden. Hiertoe moeten de vergelijkingen (5.1) binnen het gebied van gebruiksomstandigheden aan bepaalde voorwaarden voldoen. Het verdient aanbeveling dit te zijner tijd nader uit te werken.

6.3 Rekenmodel voor uitwisselen

6.3.1 Invoergegevens

Het stroomschema van het rekenmodel voor uitwisselen, dat UITDUW (UITwisselen DUWvaartsluizen) is genoemd, is gegeven in de figuren 3 en 4. Met betrekking tot de invoergegevens geldt in grote lijnen hetzelfde als vermeld is in paragraaf 2.1 van dit hoofdstuk. De organisatie hiervan voor het uitwisselen is weergegeven in figuur 3.

In tegenstelling tot bij het nivelleren volgt bij het uitwisselen de te verplaatsen hoeveelheid water niet uit de ingevoerde waterstanden. Het uitwisselvolume moet ingevoerd worden of er moeten gegevens ingevoerd worden, waaruit het berekend kan worden. Bij de bepaling van het uitwisselvolume moet, wanneer er neerwaarts wordt uitgewisseld, rekening gehouden worden met de waterverplaatsing van de schepen. Bij het opwaarts uitwisselen hoeft dit alleen, wanneer er verder teruggewonnen wordt dan onderkant schip.

6.3.2 Kiezen en bepalen van de van toepassing zijnde grootheden

Uit de invoergegevens kan afgeleid worden, welke grootheden uit het databestand gekozen moeten worden. Hiervan zijn de rioollengte, de rioolweerstand en de rioolschuifweerstandentabel al genoemd in paragraaf 2.2. Voor het uitwisselen komen hier de kolkwandrioolweerstand en de wandchuifweerstandentabel bij (zie tabel III).

Bij het bepalen van het aandrijvende verval bij het begin van het uitwisselen moet rekening gehouden worden met de uitwisselrichting en of via kanaal Slaak of via de bekkens uitgewisseld wordt. Voor het neerwaarts uitwisselen volgt

dit verval uit het waterstandsverschil tussen de kolk en het bekken of kanaal Slaak:

$$\Delta h_o = h_k - h_b \quad \text{of} \quad \Delta h_o = h_k - h_{\text{slaak}} \quad (6.16a)$$

Bij het opwaarts uitwisselen moet er rekening gehouden worden met het in de kolk aanwezige zoete water. Dan geldt:

$$\Delta h_o = h_b - h_k + \frac{\Delta \rho}{\rho_s} h_f \quad \text{of} \quad \Delta h_o = h_{\text{slaak}} - h_k + \frac{\Delta \rho}{\rho_s} h_f \quad (6.16b)$$

In de vergelijkingen (6.16) wordt gewerkt met de kolkwaterstand. In het rekenmodel kan dit, omdat daar bij het begin van het uitwisselen geen onderscheid gemaakt wordt tussen de waterstand in de kolk en de waterstand op het Zoommeer. Wordt er wel onderscheid gemaakt, dan dient in vergelijking (6.16) de waterstand op het Zoommeer gesubstitueerd te worden.

6.3.3 Vergelijkingen

Bij het nivelleren zijn de kolkwandriolen gesloten, zodat hiermee dan geen rekening gehouden hoeft te worden. Bij het uitwisselen stroomt er echter wel water door de kolkwandriolen. De bewegingsvergelijking voor het kolkwandriool bij neerwaarts uitwisselen luidt:

$$h_{oz} - h_k = (\xi_{wr} + \xi_{ws}) \frac{Q_w^2}{2gA_w^2} + \frac{L_w}{gA_w} \frac{dQ_w}{dt} \quad (6.17a)$$

en bij opwaarts uitwisselen:

$$h_k - h_{oz} = (\xi_{wr} + \xi_{ws}) \frac{Q_w^2}{2gA_w^2} + \frac{L_w}{gA_w} \frac{dQ_w}{dt} \quad (6.17b)$$

waarin: h_k = waterstand in de kolk
 h_{oz} = waterstand op het omarmend zoet
 ξ_{wr} = weerstandskoefficiënt van het kolkwandriool
 ξ_{ws} = weerstandskoefficiënt van de wandschuif
 Q_w = debiet per kolkwandriool
 A_w = kolkwandriooldoorsnede ter plaatse van de wandschuif
 L_w = rioollengte

Het verband tussen het debiet per kolkwandriool en het debiet Q_r per riool volgt uit de continuïteitsvergelijking betrokken op de kolk:

$$57 \quad Q_w - Q_r = \frac{1}{2} A_k \frac{dh_k}{dt} \quad (6.18)$$

De waarde van ξ_{ws} in vergelijking (6.17) volgt uit de wandschuifopening. In het rekenmodel wordt verondersteld, dat deze bij het opwaarts uitwisselen konstant is. Hierbij heeft het alleen bij zeer hoog terugwinnen zin rekening te houden met een intern-Froudegetal. Bij het neerwaarts uitwisselen volgt de wandschuifopening uit de voorwaarde, dat het Froude-interngetal betrokken op de wandschuifopening gelijk aan één moet zijn:

$$d_w = d'_w + \frac{Q_w^2}{2gb_w^2 d_w'^2} + (\xi_{wr} - 1) \frac{Q_w^2}{2gA_w^2} + \frac{L}{gA_w} \frac{dQ_w}{dt} \quad (6.19)$$

}

$$\text{met } d'_w = \left(\frac{Q_w}{b_w \sqrt{\epsilon g}} \right)^{2/3}$$

waarin: $\epsilon = \Delta\rho/\rho_s$
 $b_w =$ breedte kolkwandriool ter plaatse van de wandschuif
 $d_w =$ wandschuifopening

Het bovenstaande stelsel vergelijkingen wordt gekompleteerd door de bewegingsvergelijking (5.3) voor het riool.

6.3.4 Vaststellen debiet- en schuifprogramma

In het hierna volgende zal het vaststellen van het toe te passen debiet- en schuifprogramma bij uitwisselen evenals bij het nivelleren nader worden uitgewerkt aan de hand van basisdebietprogramma 2. Het hierbij behorende stroomschema is gegeven in figuur 4.

In het rekenmodel voor uitwisselen wordt op twee tijdstippen gecontroleerd of aan de in vergelijking (5.2) gegeven voorwaarden wordt voldaan. Deze tijdstippen vallen samen met het eind van de sekties 4 en 6. Voor het korrekt uitvoeren van de controles zou uitgaande van een gekozen debiet en debietop- en afbouwsnelheid eerst het in de vorige paragraaf gegeven stelsel gekoppelde differentiaalvergelijkingen opgelost moeten worden.

Dit zou een zeer bewerkelijke zaak worden, wanneer aan één van de controles niet voldaan wordt en het wel realiseerbaar debietverloop bepaald moet worden. Voor het uitvoeren van de controles wordt daarom met versimpelde vergelijkingen gewerkt. De versimpelingen bestaan er uit, dat de afgeleiden naar de tijd in de vergelijkingen (6.17), (6.18) en (6.19) nul worden gesteld. Dit houdt in, dat de berging in de kolk en de traagheid verwaarloosd worden. De vergelijkingen (6.17) worden dan:

$$\text{voor neerwaarts uitwisselen } h_{oz} - h_k = (\xi_{wr} + \xi_{ws}) \frac{Q_w^2}{2gA_w^2} \quad (6.20a)$$

$$\text{voor opwaarts uitwisselen } h_k - h_{oz} = (\xi_{wr} + \xi_{ws}) \frac{Q_w^2}{2gA_w^2} \quad (6.20b)$$

Vergelijking (6.18) wordt:

$$57 Q_w - Q_r = 0 \quad (6.21)$$

en vergelijking (6.19):

$$d_w = d_w' + \frac{Q_w^2}{2g_b d_w'^2} + (\xi_{wr} - 1) \frac{Q_w^2}{2gA_w^2} \quad (6.22)$$

Voor het aandrijvende verval aan het eind van sectie 4 kan gesteld worden:

$$\Delta h_4 = \Delta h_o - |h_{oz} - h_k|_4 = \Delta h_o - (\xi_{wr} + \xi_{ws4}) \frac{Q_w^2}{2gA_w^2} \quad (6.23)$$

Deze Δh_4 moet groter zijn dan het rechterlid van vergelijking (5.2) wil het debietverloop gerealiseerd kunnen worden. Bij het neerwaarts uitwisselen kan deze vergelijking niet herleid worden tot een vierkantsvergelijking in a , zoals bij het nivelleren is gedaan (zie paragraaf 2.3.1 van dit hoofdstuk). Wanneer niet aan de voorwaarde wordt voldaan, zal op iteratieve wijze het debietverloop aangepast moeten worden.

Voor de bepaling van het aandrijvende verval aan het eind van sectie 6 wordt onderscheid gemaakt tussen uitwisselen via kanaal Slaak en uitwisselen via een bekken. Verder wordt hierbij rekening gehouden met de verandering van de

hoeveelheid zoet water in de kolk tijdens het uitwisselproces. Met de wisselwerking tussen de sluizen wordt geen rekening gehouden. Voor uitwisselen via kanaal Slaak wordt het aandrijvende verval gegeven door:

$$\Delta h_6 = \Delta h_o - |h_{oz} - h_k|_4 - \frac{\Delta \rho}{\rho_s} \frac{2V_6}{A_k} \quad (6.24a)$$

waarin V_6 gegeven wordt door vergelijking (6.4). Bij uitwisselen via de bekens wordt ook de waterstandsverandering op het bekken in rekening gebracht. Deze waterstandsverandering wordt veroorzaakt door het lozen op of onttrekken van water door de kolk en het gemaal:

$$\Delta h_6 = \Delta h_o - |h_{oz} - h_k|_6 - \frac{\Delta \rho}{\rho_s} - (2V_6 - t_6 Q_g)/A_b \quad (6.24b)$$

waarin Q_g het gemaaldebiet is en A_b het bekkenoppervlak.

De controle op de tijdsduren, de schuifsnelheden en de schuifkrachten verlopen in het rekenmodel voor het uitwisselen op dezelfde wijze als bij het nivelleren. Nadat een te realiseren debietverloop is vastgesteld, dienen de exakte schuifbewegingen bepaald te worden door het oplossen van het in de vorige paragraaf genoemde stelsel differentiaalvergelijkingen. In het rekenmodel wordt dit wegens de beschikbare geheugenkapaciteit van de gebruikte tafelcomputer niet gedaan, maar wordt volstaan met de versimpelde vergelijkingen. Dit geeft voor de wandschuif te hoge snelheden.

7 Resultaten en evaluatie basisdebietprogramma's

7.1 Inleiding

Met de ontwikkeling van de rekenmodellen NIVDUW en UITDUW is een methode beschikbaar gekomen, waarmee de bij de Krammersluizen toe te passen debiet- en schuifprogramma's vastgesteld kunnen worden. Tevens kan met behulp van deze modellen inzicht verkregen worden in de te verwachten nivelleer- en uitwisseltijden.

In dit hoofdstuk zullen een aantal resultaten van met NIVDUW en UITDUW uitgevoerde berekeningen gepresenteerd worden en zullen de verschillen in resultaten tussen de drie basisdebietprogramma's bekeken worden.

7.2 Berekeningsresultaten

Na het gereed komen is met de rekenmodellen een range van gebruiksomstandigheden doorgerekend. Voor het nivelleren zijn deze weergegeven in de figuren 5 t/m 8. In deze figuren is voor alle drie de basisdebietprogramma's de nivelleertijd als functie van de hoogte van de schuttschijf uitgezet.

Afhankelijk van de uitwisselrichting en de waterstand op het Zijpe kan er bij uitwisselen gekozen worden tussen het gebruik van een bekken of kanaal Slaak. Voor beide mogelijkheden zijn de uitwisseltijden als functie van het verval tussen de kolk en het bekken of kanaal Slaak bepaald. De resultaten zijn weergegeven in de figuren 9 en 10. Bij het bepalen van een keuzekriterium voor het uitwisselen kan gebruik gemaakt worden van deze figuren.

7.3 Evaluatie basisdebietprogramma's

Zoals in hoofdstuk 5 is aangegeven, is in eerste instantie uitgegaan van drie basisdebietprogramma's. Na het gereed komen van de rekenmodellen is de vraag gesteld of het zinvol was alle drie de basisdebietprogramma's te handhaven. Voor het beantwoorden van deze vraag zijn de basisdebietprogramma's op basis van een aantal aspecten met elkaar vergeleken.

Eén van de vergelijkingsaspecten is de met elk basisdebietprogramma te realiseren nivelleer- en uitwisseltijden geweest. Met betrekking tot het uitwisse-

len geldt, dat wanneer er duidelijke verschillen in uitwisseltijd tussen de drie basisdebietprogramma's optreden, basisdebietprogramma 1 de meeste tijd vergt. Uit de figuren 5 en 6 blijkt, dat bij nivelleren via de bekkens basisdebietprogramma 1 voor schuttschijven kleiner dan 0,5 meter de kortste niveleertijd oplevert. Voor grotere schuttschijven ontlopen de basisdebietprogramma's 1 en 2 elkaar niet veel. Bij nivelleren met kanaal Slaak (fig. 7 en 8) heeft basisdebietprogramma 1 geen voordelen. Op grond van bovenstaande is besloten basisdebietprogramma 1 niet verder mee te nemen.

Wanneer de basisdebietprogramma's 2 en 3 op het punt van benodigde nivelleer- en uitwisseltijden met elkaar vergeleken worden, is basisdebietprogramma 2 gunstiger. Ook op het punt van de schuifbeweging is programma 2 iets gunstiger. Met name in de sekties 7 t/m 13 van programma 3 kan het verloop van de schuifbeweging grilliger zijn dan bij basisdebietprogramma 2. Alvorens een definitieve keus te maken tussen de basisdebietprogramma's 2 en 3 is nog een derde aspect in het vergelijking betrokken. Dit betreft het effect van de in de rekenmodellen aangebrachte schematisaties.

In de rekenmodellen wordt een geschematiseerde schuifbeweging bepaald. Het laten verlopen van de schuifbeweging volgens dit patroon, zal een debietverloop geven, dat afwijkt van het gewenste debietverloop. De vraag, die gesteld kan worden, is, hoe groot die afwijking is en of dit verschilt per basisdebietprogramma. Om deze vraag te beantwoorden zijn de uit NIVDUW volgende geschematiseerde schuifbewegingen van de basisdebietprogramma's 2 en 3 voor een aantal gevallen ingevoerd in het computerprogramma VLKOLK. Dit programma bepaald uitgaande van een schuifbeweging met behulp van vergelijking (5.3) het debietverloop. Voor één geval zijn de resultaten gegeven in figuur 11. In deze figuur zijn het gewenste en het uitgaande van de geschematiseerde schuifbeweging gerealiseerde debietverloop weergegeven. Voor basisdebietprogramma 3 sluiten het gewenste en gerealiseerde debietverloop het beste op elkaar aan. Dit was te verwachten, omdat bij programma 3 de schuifbeweging in 15 stukken geschematiseerd wordt en bij programma 2 in 9 stukken. Om een beter beeld te krijgen is de berekening voor programma 2 herhaald. Hierbij is ook voor programma 2 de schuifbeweging in 15 stappen geschematiseerd. Het resultaat is weergegeven in figuur 12. De basisdebietprogramma's zijn op dit punt dan gelijkwaardig.

Uiteindelijk is binnen de werkgroep Besturing Krammersluizen geconkludeerd, dat volstaan kan worden met één basisdebietprogramma. Hierbij is de keus gevallen op basisdebietprogramma 2.

8 Stand van zaken en verder onderzoek

In hoofdstuk 4 zijn uitgaande van een voor het nivelleren gemaakte inventarisatie een aantal hoofdpunten onderscheiden. Het eerste hiervan, het vaststellen van de toe te passen debiet- en schuifprogramma's, is inmiddels grotendeels afgerond. Met betrekking tot een aantal onderdelen van de ontwikkelde rekenmethodiek verdient het aanbeveling deze nader te onderbouwen.

De werkzaamheden rond het tweede van de in hoofdstuk 4 genoemde hoofdpunten, gevoeligheidsanalyse en nauwkeurigheidsonderzoek, kunnen, nu het vaststellen van de toe te passen debiet- en schuifprogramma's is afgerond, opgestart worden. Het doel van dit onderdeel is om na te gaan welke afwijkingen tussen het met behulp van de rekenmodellen bepaalde debietverloop en het in het prototype werkelijk optredende debietverloop verwacht mogen worden. Deze afwijkingen kunnen hun oorzaak vinden in bijvoorbeeld schachtslingeringen, bekkenpeilveranderingen, translatiegolven en het niet precies kennen van bepaalde parameters, zoals de weerstandskoefficienten. Voor het opvangen van de optredende afwijkingen wordt bij het nivelleren het toepassen van een zogenaamd "kruipdebiet" overwogen. Hiermee wordt bedoeld, dat tijdens het laatste deel van het nivelleren met een gereduceerd debiet wordt gewerkt. De precieze invulling hiervan moet in overleg met de werkgroep Besturing Krammersluizen nog geschieden.

Na het afronden van de hoofdwerkzaamheden met betrekking tot de besturing van de duwvaartsluizen zullen de resultaten van het onderzoek in het kader van de jachtensluizen ingepast worden in het besturingssysteem van de jachtensluizen.

9 Tijdschema en kosten

Een exakte invulling van de werkzaamheden in het kader van de gevoeligheidsanalyse en de nauwkeurigheidsbeschouwing moet binnen de werkgroep Besturing Krammersluizen plaatsvinden. De benodigde inspanning hiervoor wordt voorlopig afgeschat op 2 manmaanden. De in dit hoofdstuk genoemde manmaanden kunnen ongeveer gelijk gesteld worden aan kalendermaanden.

De onderbouwing van een aantal bij de ontwikkeling van de rekenmodellen gedane aannames kan gelijk met de eindrapportage van de in het kader van de besturing uitgevoerde werkzaamheden gedaan worden. Voor deze rapportage wordt gerekend op drie manmaanden.

Voor het inpassen van de resultaten van het onderzoek met betrekking tot de jachtensluizen in het besturingssysteem van de jachtensluizen wordt voorlopig gerekend op één mannaand.

De totale kosten van de bovengenoemde werkzaamheden worden voorlopig geraamd op f 200.000,- inclusief BTW. Gezien de financiële stand van zaken per 1 juni 1982, die geschat wordt op ± f 315.000,- (er was begroot en opdracht gegeven voor f 340.000,-), betekent dit, dat het gereserveerde budget van f 570.000,- volgens de huidige inzichten nog steeds voldoende is om de geraamde kosten van de voorgestelde werkzaamheden te dekken.

Literatuur

1. "Ontwerp sluizencomplex Philipsdam". Rijkswaterstaat, Deltadienst, Afdeling Waterbouwkundige Werken Oost, nota nr. DD.WWO 81-20.003, mei 1981.
2. Waterloopkundig Laboratorium, "Duwvaartsluizen in de Philipsdam; luchtaan-
zuiging achter de rioolschuiven".
Verslag onderzoek R 1209, februari 1979.
3. Waterloopkundig Laboratorium, "Duwvaartsluizen in de Philipsdam; riool-
schuifbewegingen bij uitwisselen en nivelleren via kanaal Slaak".
Verslag onderzoek R 1252, december 1979.
4. Waterloopkundig Laboratorium, "Duwvaartsluizen in de Philipsdam; beweging
afdichtende regelschuif bij het begin van het neerwaarts uitwisselen".
Verslag onderzoek R 1369, november 1980.
5. Waterloopkundig Laboratorium, "Philipsdamsluizen; bepaling verliescoëffi-
ciënten riolen en schuiven".
Verslag berekening R 1422, december 1979.
6. Waterloopkundig Laboratorium, "Duwvaartsluizen in de Philipsdam; maximale
krachten op schuiven".
Verslag bureaustudie R 1506, maart 1981.
7. Waterloopkundig Laboratorium, "Duwvaartsluizen in de Philipsdam; mogelijke
besturingssystemen uitgaande van uitwissel- en nivelleervolume".
Verslag onderzoek R 1507, augustus 1980.
8. Waterloopkundig Laboratorium, "Duwvaartsluizen in de Philipsdam; twee-
dimensionaal onderzoek naar menging en zout/zoetverliezen".
Verslag modelonderzoek M 1529-II, april 1981.
9. Waterloopkundig Laboratorium, "Duwvaartsluizen in de Philipsdam; gevoelig-
heid zout/zoetscheiding voor diverse parameters".
Voorlopige samenvatting resultaten modelonderzoek M 1529-III, april 1981.

Literatuur (vervolg)

10. Waterloopkundig Laboratorium, "Duwvaartsluizen in de Philipsdam; voorontwerp besturingsmethoden".

R 1253-II, februari 1979.

Ook verschenen bij: Rijkswaterstaat, Deltadienst, Hoofdafdeling Waterloopkunde onder F 77.10C.00.

		SCHUTRICHTING ZOOMMEER										SCHUTRICHTING ZIJPE									
		$h_{zijpe} > h_{zoommeer}$ ledigen via uitlaatwerk					$h_{zijpe} < h_{zoommeer}$ vullen via inlaatwerk					$h_{zijpe} > h_{zoommeer}$ vullen via doorlaatwerk					$h_{zijpe} < h_{zoommeer}$ ledigen via doorlaatwerk				
		kolk 1		kolk 2			kolk 1		kolk 2			kolk 1		kolk 2			kolk 1		kolk 2		
		weerstand $\xi_r [-]$	lengte $L [m]$	weerstand $\xi_r [-]$	lengte $L [m]$	weerstand $\xi_r [-]$	lengte $L [m]$	weerstand $\xi_r [-]$	lengte $L [m]$	weerstand $\xi_r [-]$	lengte $L [m]$	weerstand $\xi_r [-]$	lengte $L [m]$	weerstand $\xi_r [-]$	lengte $L [m]$	weerstand $\xi_r [-]$	lengte $L [m]$	weerstand $\xi_r [-]$	lengte $L [m]$	weerstand $\xi_r [-]$	lengte $L [m]$
niet aangegroeid		1.76	169.67	1.99	238.07	1.48	135.85	1.68	209.38	1.76	169.67	1.96	240.16	2.00	169.67	2.22	240.16	4.84	191.81	5.55	275.31
aangegroeid		4.34	191.71	5.04	269.52	3.99	153.24	4.63	236.74	4.51	191.81	5.18	275.31	4.84	191.81	5.55	275.31	4.84	191.81	5.55	275.31

h_{zijpe} = waterstand op het Zijpe

$h_{zoommeer}$ = waterstand op het Zoommeer

de referentiedoorsnede voor de weerstand en lengte bevindt zich ter plaatse van de schuif

TABEL I : RIOOLWEERSTANDSKOEFFICIENTEN EN RIOOLLENGTEN ONTLEEND AAN [5]

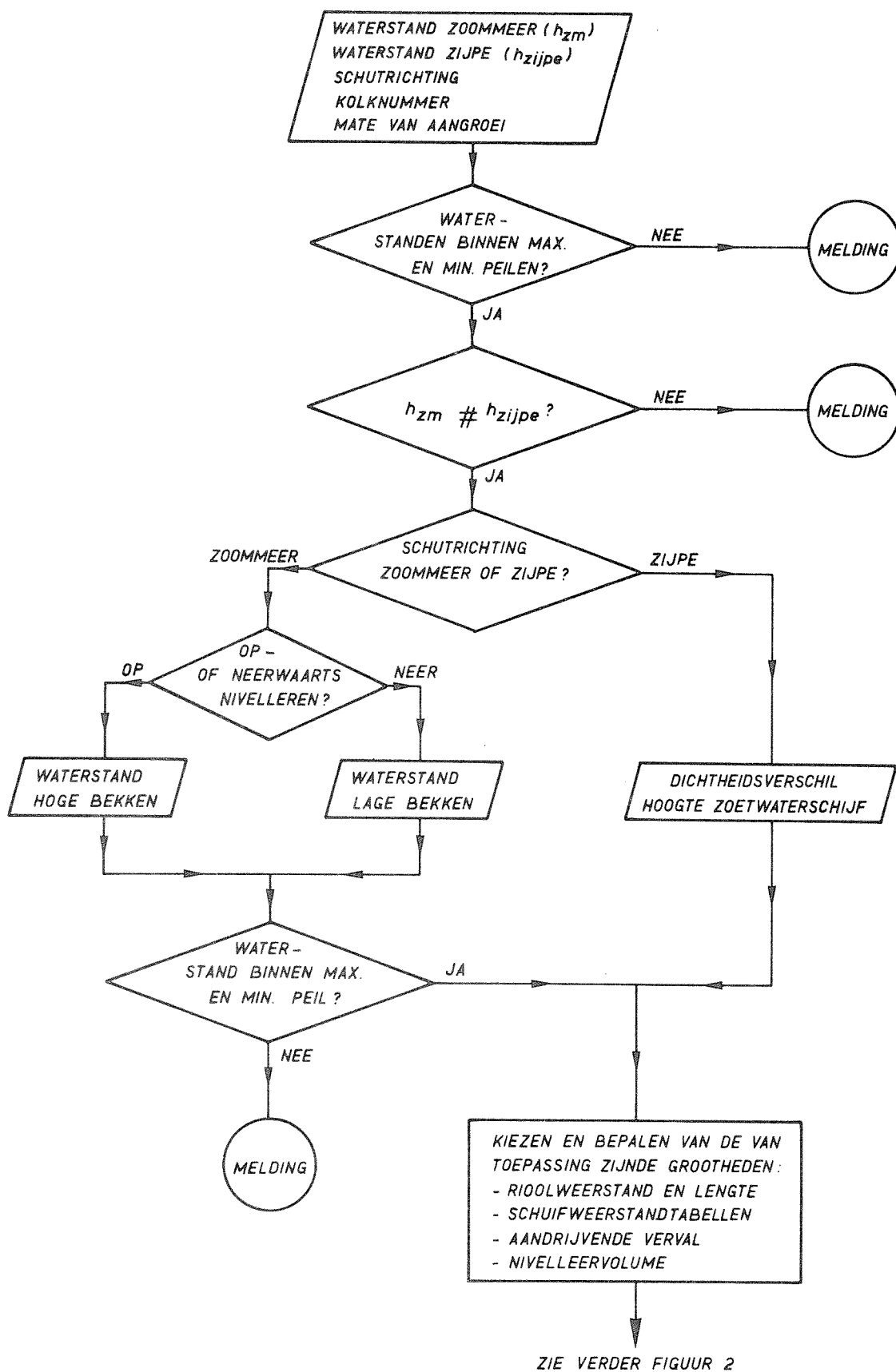
ξ_F - WAARDEN VOOR KRACHTS- BEPALING			
d/D	VULLEN VIA IN-OF DOOR- LAATWERK	LEDIGEN VIA DOORLAATWERK	LEDIGEN VIA UITLAATWERK
- 0.05	2900	4550	4270
- 0.02	1760	2780	2620
0.00	1110	1810	1710
0.05	253	450	421
0.10	74.8	138	127
0.15	42.0	68.0	71.0
0.20	26.0	38.0	43.5
0.25	16.4	22.2	26.8
0.30	10.6	13.9	16.5
0.35	7.07	9.38	10.4
0.40	4.92	6.70	6.6
0.45	3.53	4.81	4.28
0.50	2.60	3.40	2.90
0.55	1.95	2.37	2.03
0.60	1.48	1.65	1.48
0.65	1.126	1.15	1.11
0.70	0.850	0.790	0.850
0.75	0.628	0.520	0.643
0.80	0.449	0.310	0.472
0.85	0.305	0.164	0.330
0.90	0.189	0.071	0.208
0.95	0.090	0.020	0.100
1.00	0.00	0.00	0.00

TABEL II : SCHUIFWEERSTANDSKOEFFICIENTEN ONTLEEND AAN [5]

WANDSCHUIF - OPENING d/D	NEERWAARTS UITWISSELEN	OPWAARTS UITWISSELEN
0.00	4500	4500
0.01	2400	1930
0.02	1200	1180
0.03	750	690
0.04	570	460
0.05	460	340
0.06	380	235
0.08	260	135
0.10	170	90
0.15	87	38
0.20	52	18.5
0.25	33	11
0.30	22.5	8
0.40	12	5
0.50	6	3
0.60	2	1.5
0.70	0.5	1.0
0.80	0.0	0.5
0.90	0.0	0.0
1.00	0.0	0.0

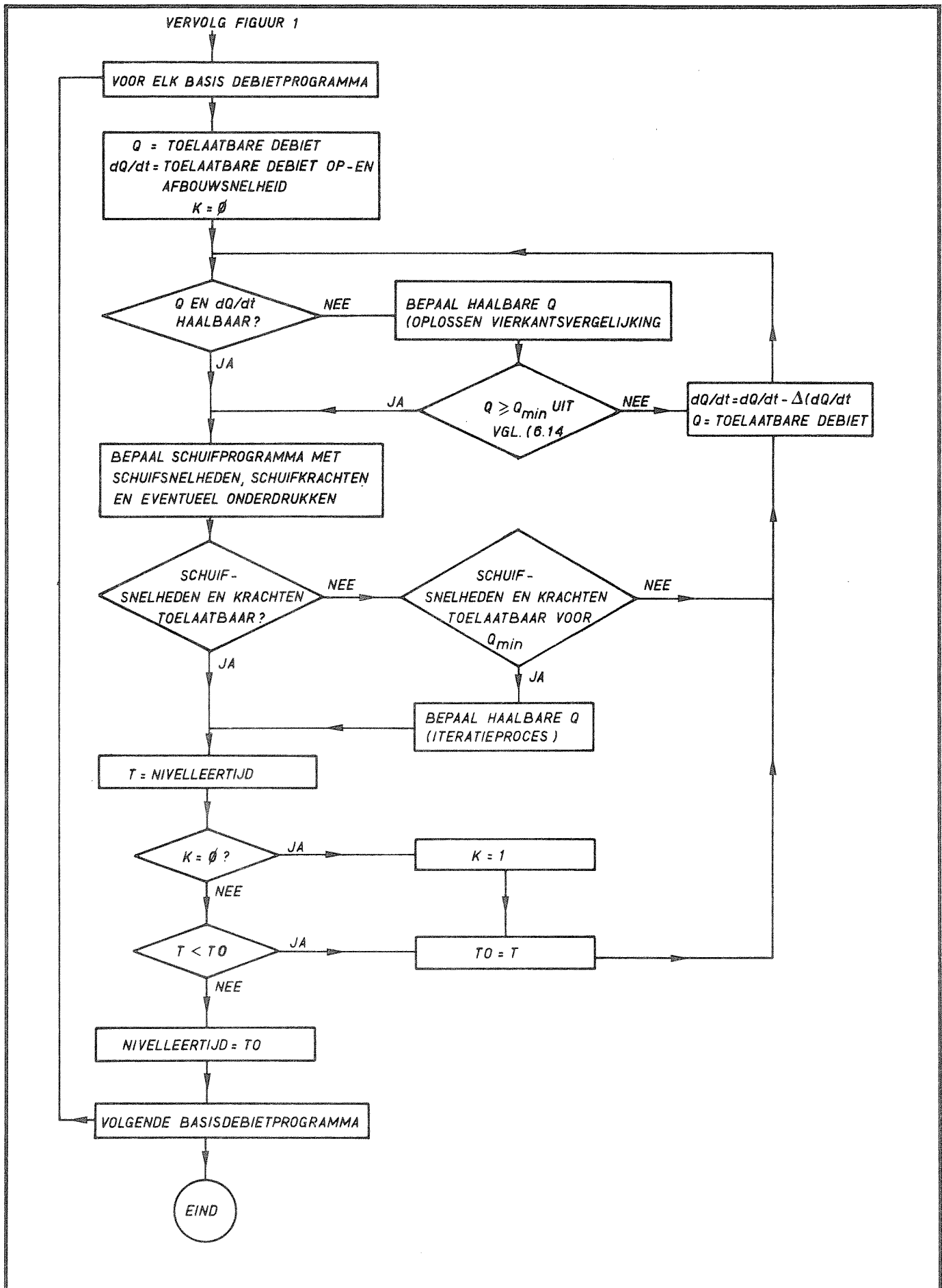
NOODSCHUIFOPENING	100 %	75 %	50 %	25 %
WEERSTANDSKOEFFICIENT KOLKWANDRIOL	18	33	85	295

TABEL III : WEERSTANDSKOEFFICIENTEN MET BETREKKING TOT
DE KOLKWANDRIOLEN



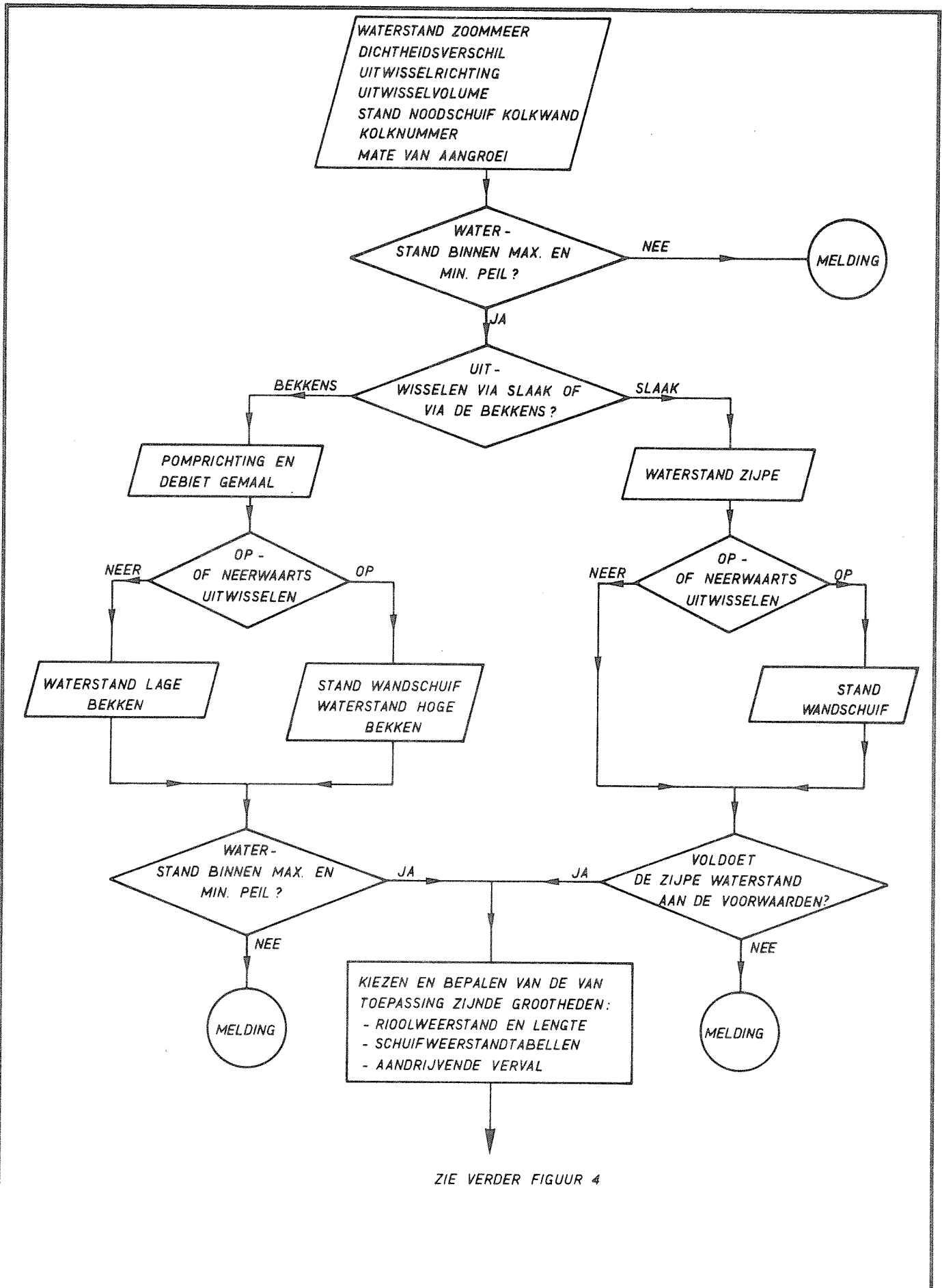
INVOERGEGEVENS EN BEPALEN GROOTHEDEN TEN
BEHOEVE VAN NIVELLEREN

A4



BEPALING DEBIET-EN SCHUIFFPROGRAMMA VOOR NIVELLEREN

A4



ZIE VERDER FIGUUR 4

INVOERGEGEVENS EN BEPALEN GROOTHEDEN TEN
BEHOEVE VAN UITWISSELEN

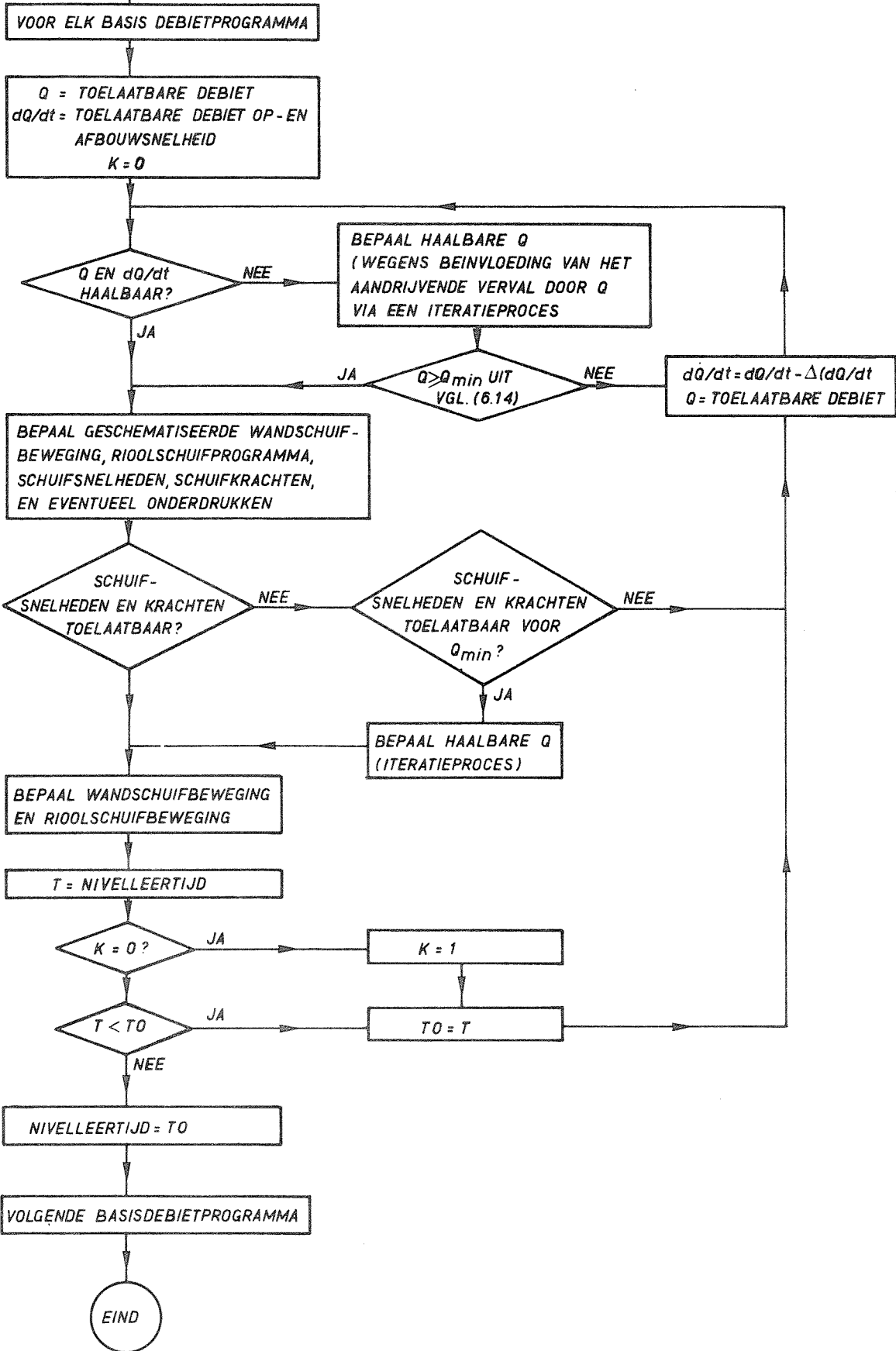
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1719

FIG. 3

VERVOLG FIGUUR 3



BEPALING DEBIET - EN SCHUIFPROGRAMMA'S VOOR
UITWISSELEN

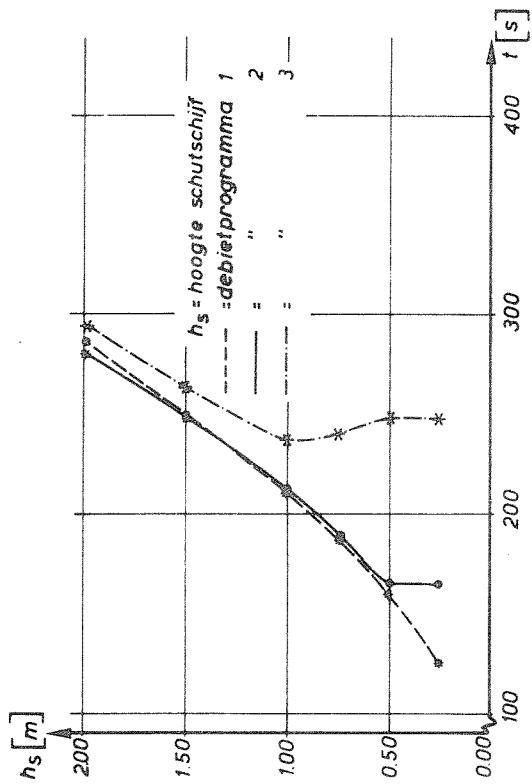


fig. 5a Neerwaarts nivelleren: kolk 1 niet aangegroeid
schuifrichting Zoommeer
(lage bekken -1.25 m)

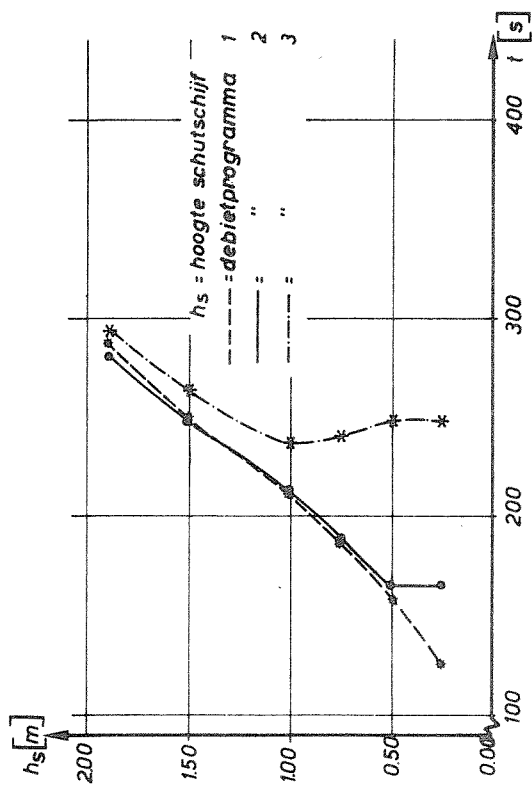


fig. 5c Neerwaarts nivelleren: kolk 2 niet aangegroeid
schuifrichting Zoommeer
(lage bekken -1.25 m)

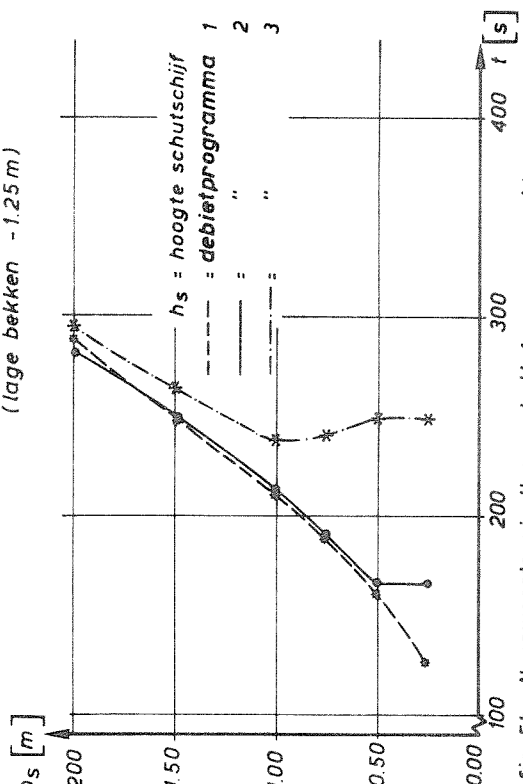


fig. 5b : Neerwaarts nivelleren: kolk 1 aangegroeid
schuifrichting Zoommeer
(lage bekken -1.25 m)

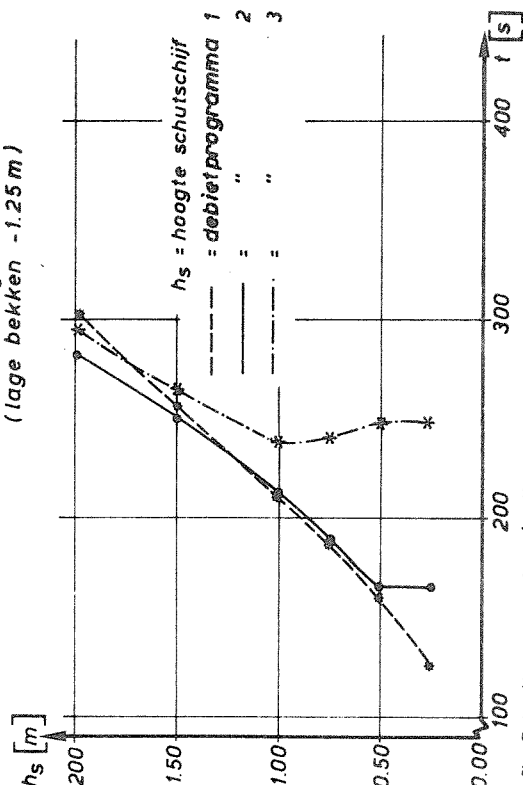


fig. 5d : Neerwaarts nivelleren: kolk 2 aangegroeid
schuifrichting Zoommeer
(lage bekken -1.25 m)

NIVELLEERTIJDEN VOOR NEERWAARTS NIVELLEREN MET HET ZOOMMEER

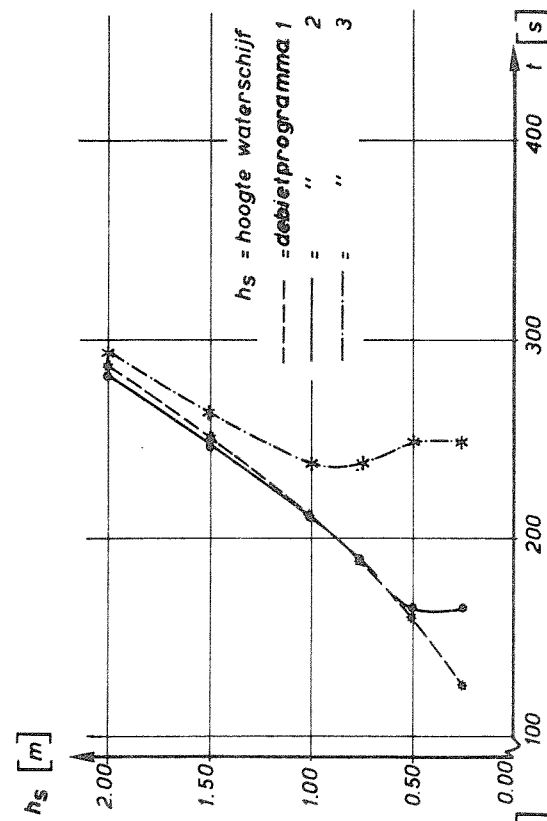


fig. 6a: Opwaarts nivelleren: kolk 1 niet aangegroeid
schuifrichting Zoommeer
(hoge bekken + 1.00 m)

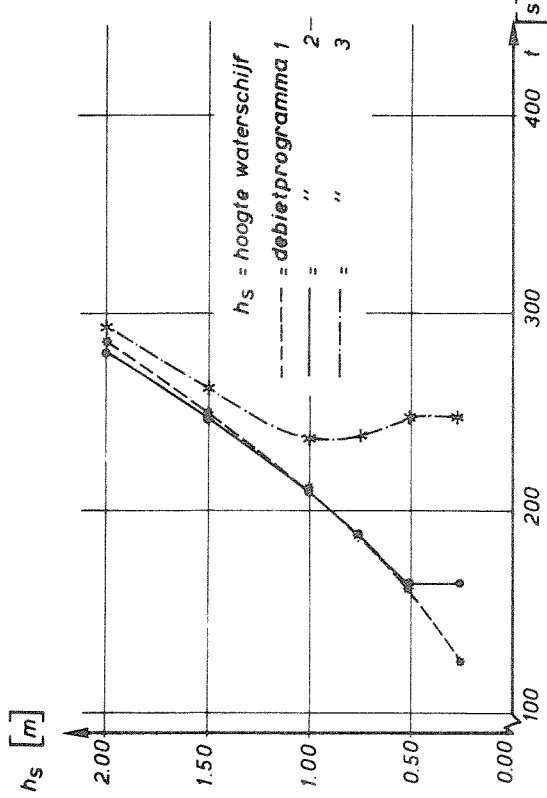


fig. 6b: Opwaarts nivelleren: kolk 1 aangegroeid
schuifrichting Zoommeer
(hoge bekken + 1.00 m)

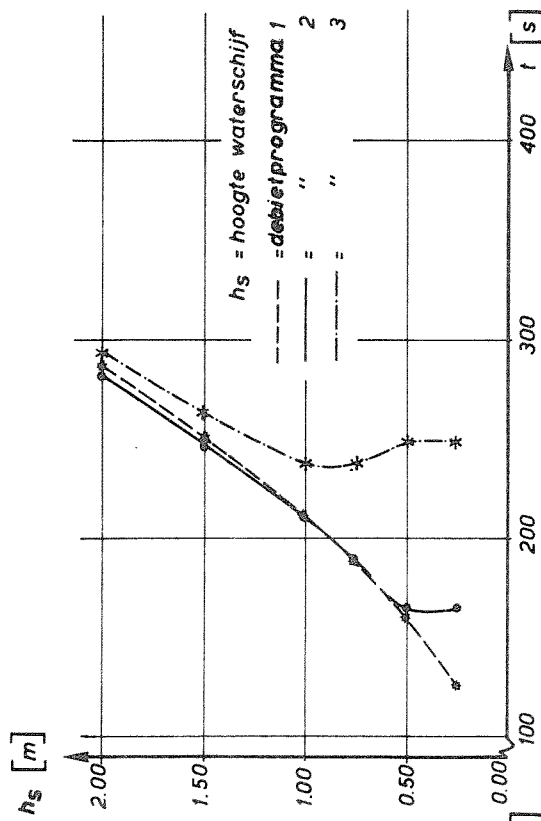


fig. 6c: Opwaarts nivelleren: kolk 2 niet aangegroeid
schuifrichting Zoommeer
(hoge bekken + 1.00 m)

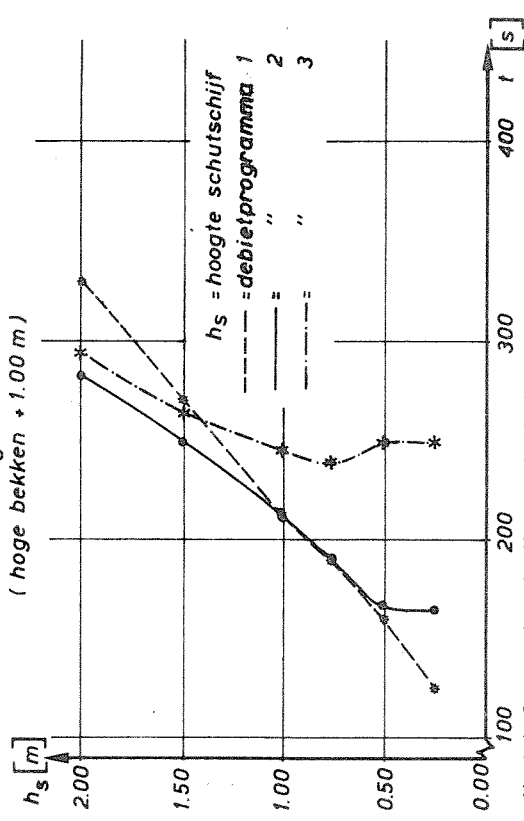


fig. 6d: Opwaarts nivelleren: kolk 2 aangegroeid
schuifrichting Zoommeer
(hoge bekken + 1.00 m)

NIVELLEERTIJDEN VOOR OPWAARTS NIVELLEREN MET HET ZOOMMEER

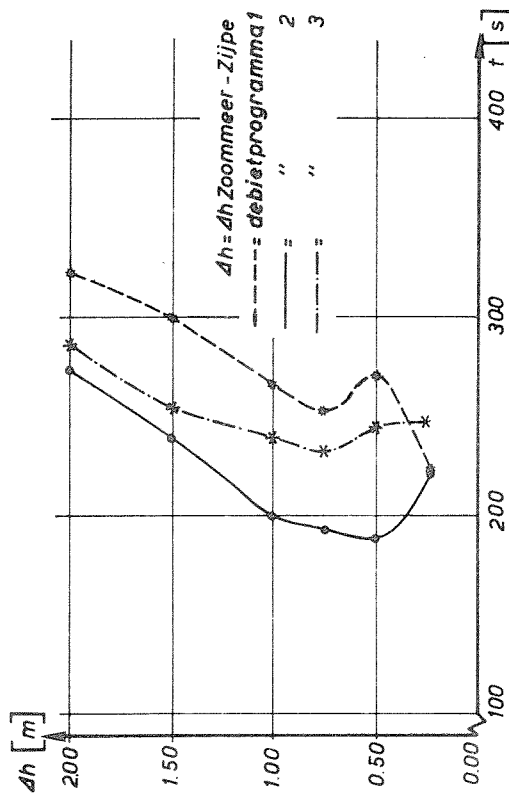


fig. 7a: Neerwaarts nivelleren: kolk 1; niet aangegroeid
 schuttrichting Zijpe
 ($\Delta l' = 20 \text{ kg/m}^3$; 7m zoet water)

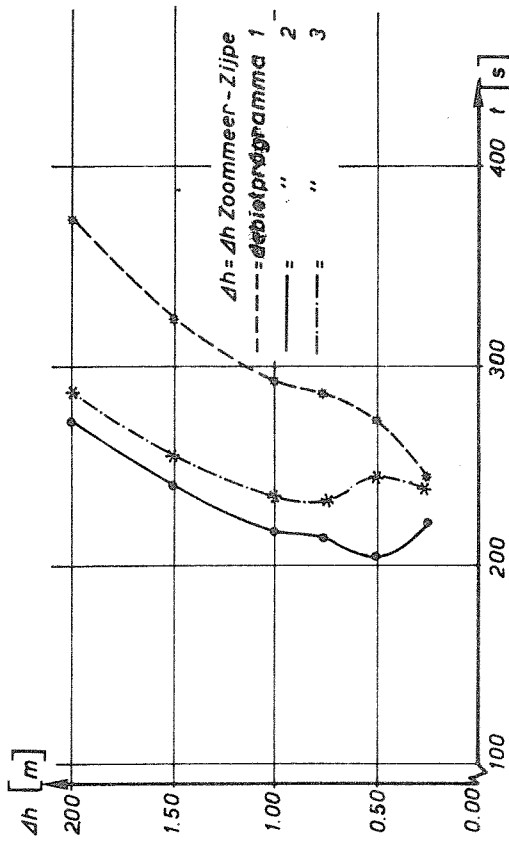


fig. 7c: Neerwaarts nivelleren: kolk 2 niet aangegroeid
 schuttrichting Zijpe
 ($\Delta l' = 20 \text{ kg/m}^3$; 7m zoet water)

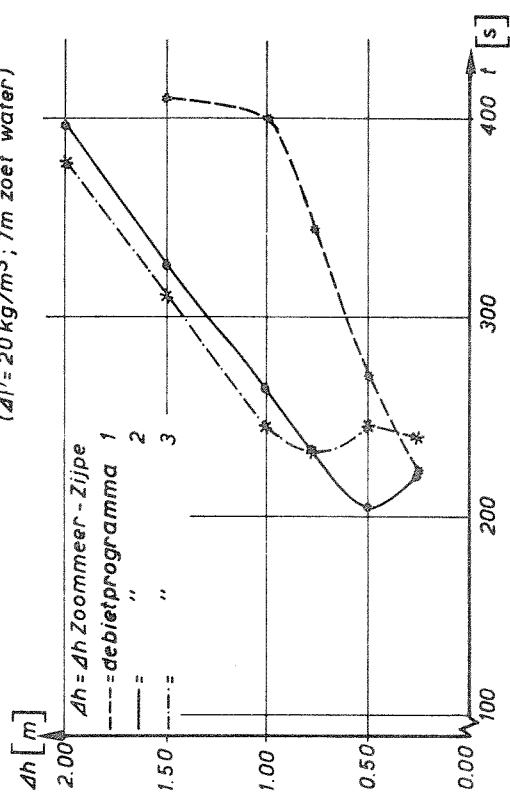


fig. 7b: Neerwaarts nivelleren: kolk 1 aangegroeid
 schuttrichting Zijpe
 ($\Delta l' = 20 \text{ kg/m}^3$; 7m zoet water)

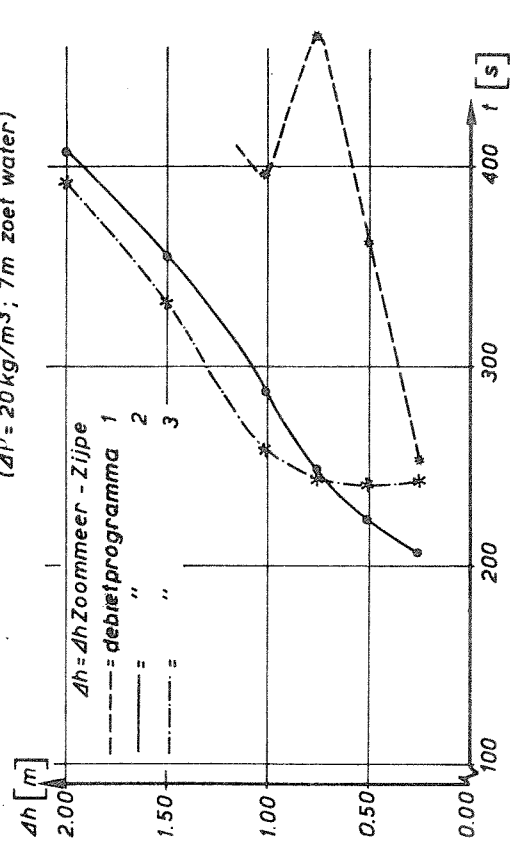


fig. 7d: Neerwaarts nivelleren: kolk 2 aangegroeid
 schuttrichting Zijpe
 ($\Delta l' = 20 \text{ kg/m}^3$; 8m zoet water)

NIVELLEERTIJDEN VOOR NEERWAARTS NIVELLEREN MET HET ZIJPE

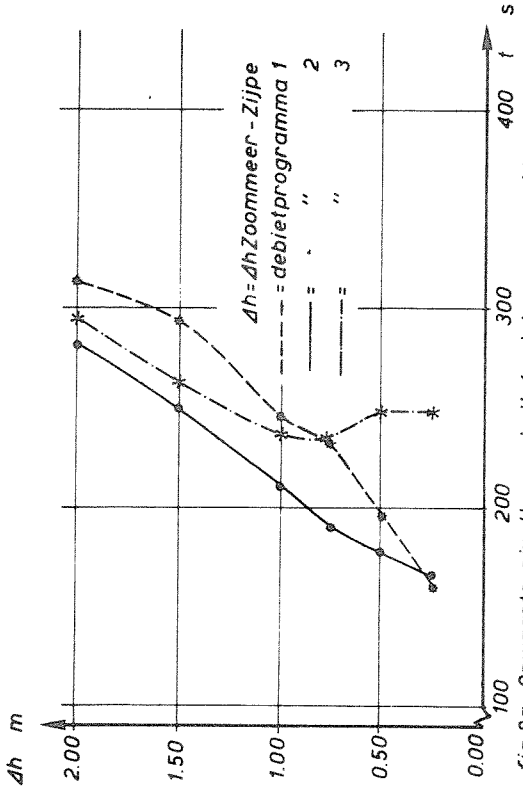


fig. 8a: Opwaarts nivelleren: kolk 1 niet aangegroeid schuttrichting Zijpe (Δl) = 20 kg/m³; 7m zoet water)

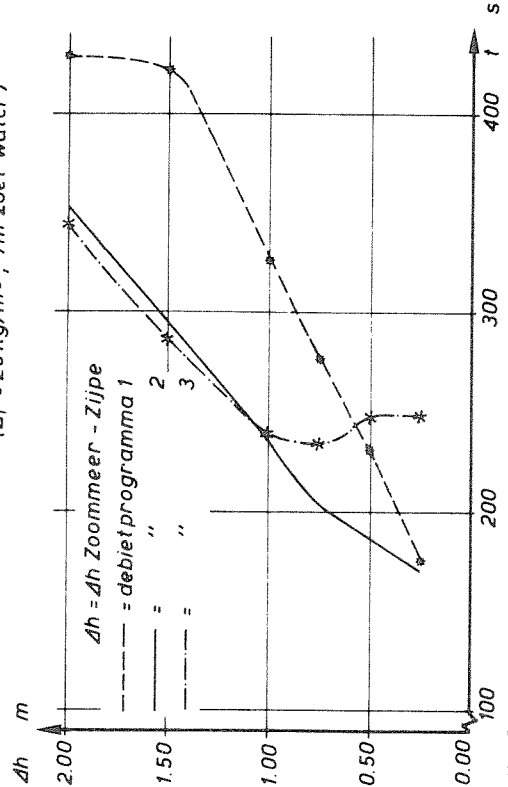


fig. 8b: Opwaarts nivelleren: kolk1 aangegroeid schuttrichting Zijpe (Δl) = 20 kg/m³; 7m zoet water)

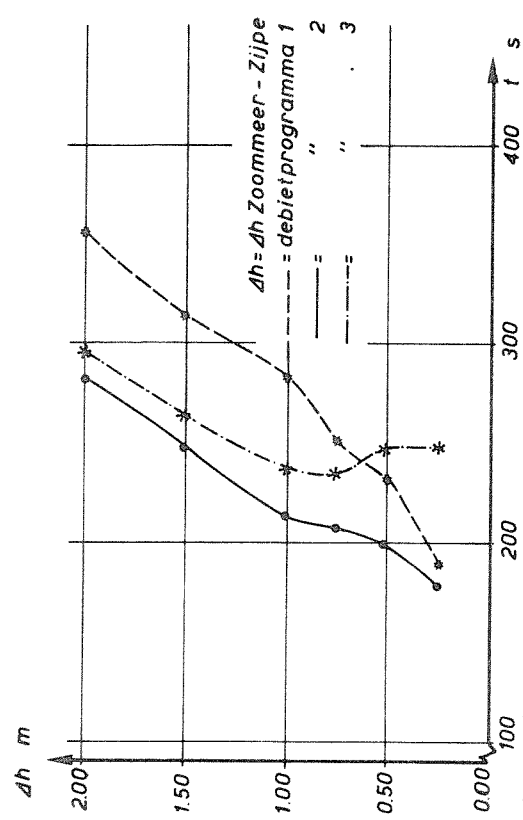


fig. 8c: Opwaarts nivelleren: kolk 2 niet aangegroeid schuttrichting Zijpe (Δl) = 20 kg/m³; 7m zoet water)

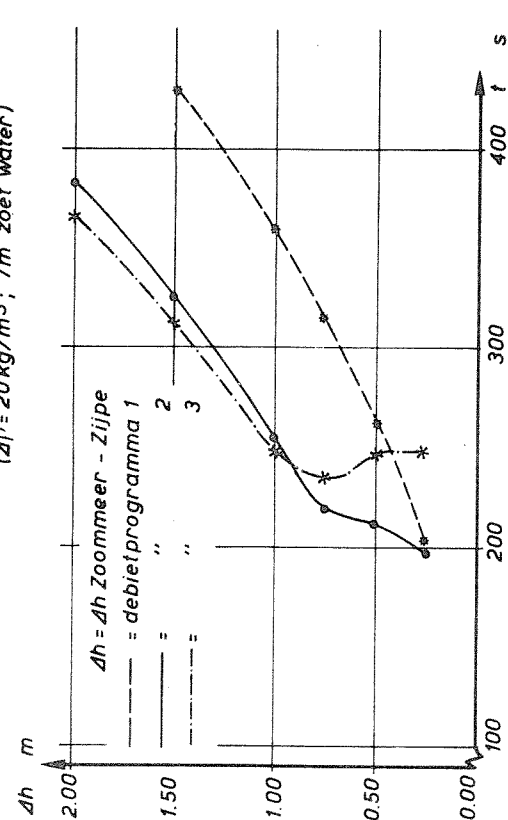


fig. 8d: Opwaarts nivelleren: kolk 2 aangegroeid schuttrichting Zijpe (Δl) = 20 kg/m³; 7m zoet water)

NIVELLEERTIJDEN VOOR OPWAARTS NIVELLEREN MET HET ZIJPE

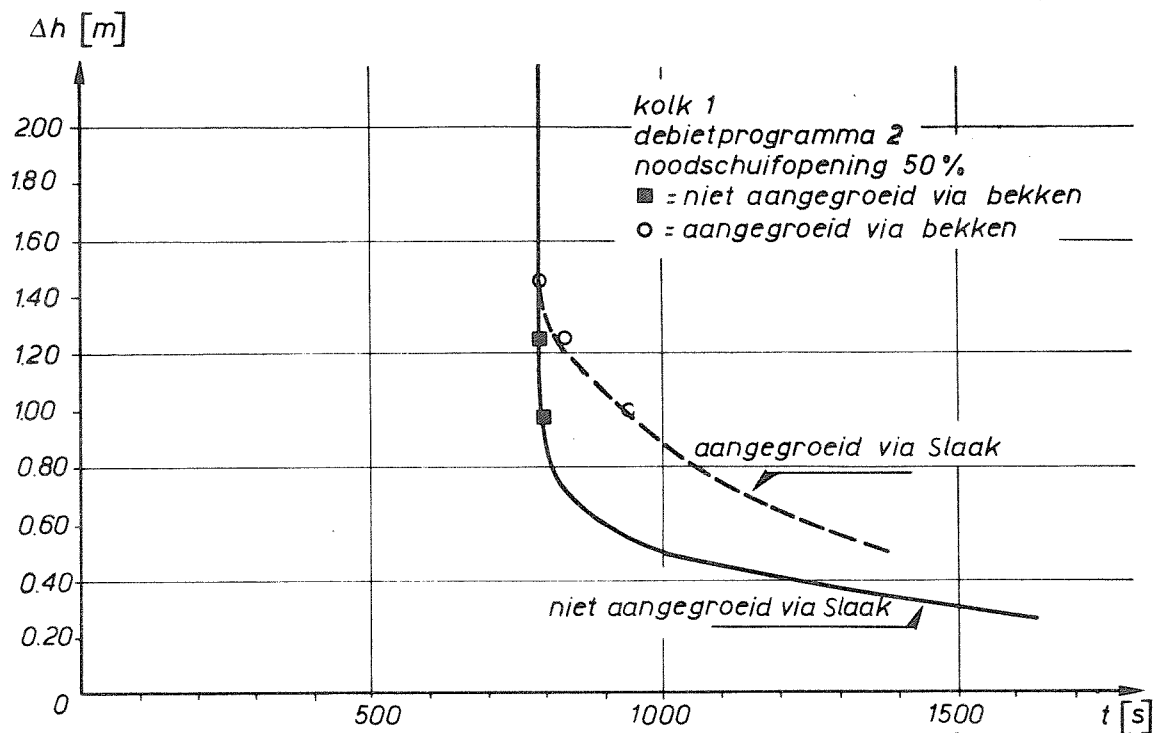


fig.9a: Neerwaarts uitwisselen met kolk 1 (uitwisselschijf 7 x 7900 m³)

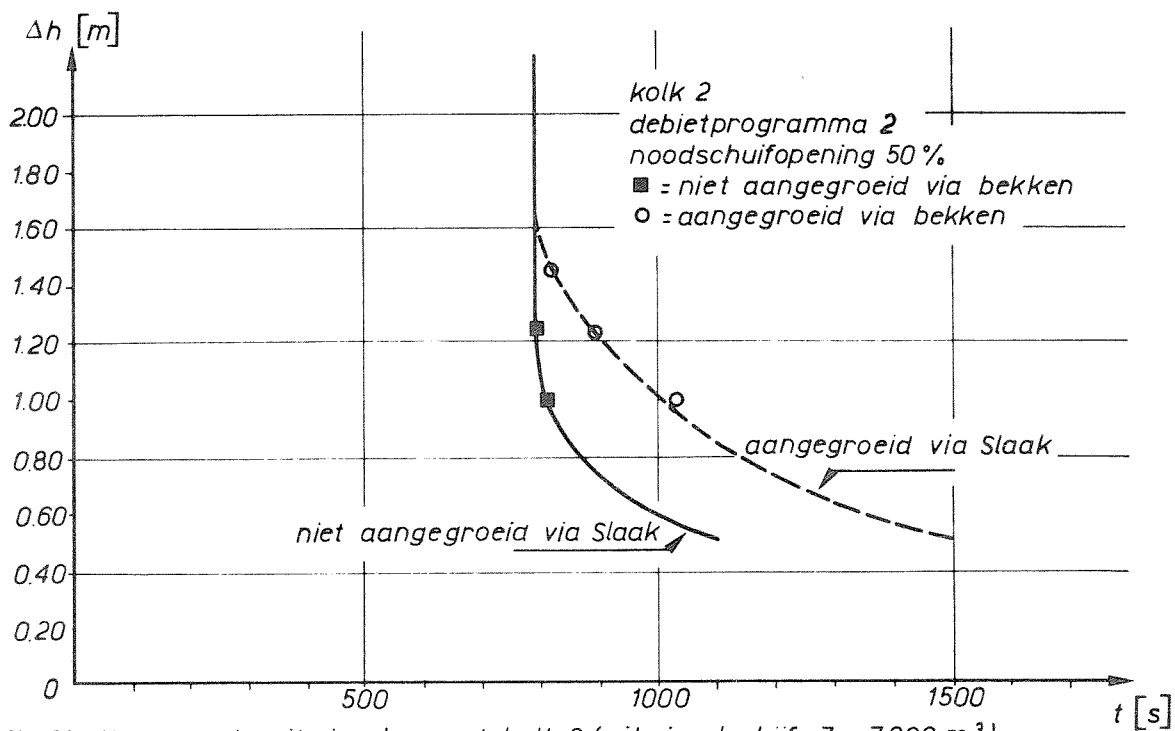


fig.9b: Neerwaarts uitwisselen met kolk 2 (uitwisselschijf 7 x 7900 m³)

UITWISSELTIJDEN VOOR NEERWAARTS UITWISSELEN VIA
SLAAK EN VIA LAGE BEKKEN

A4

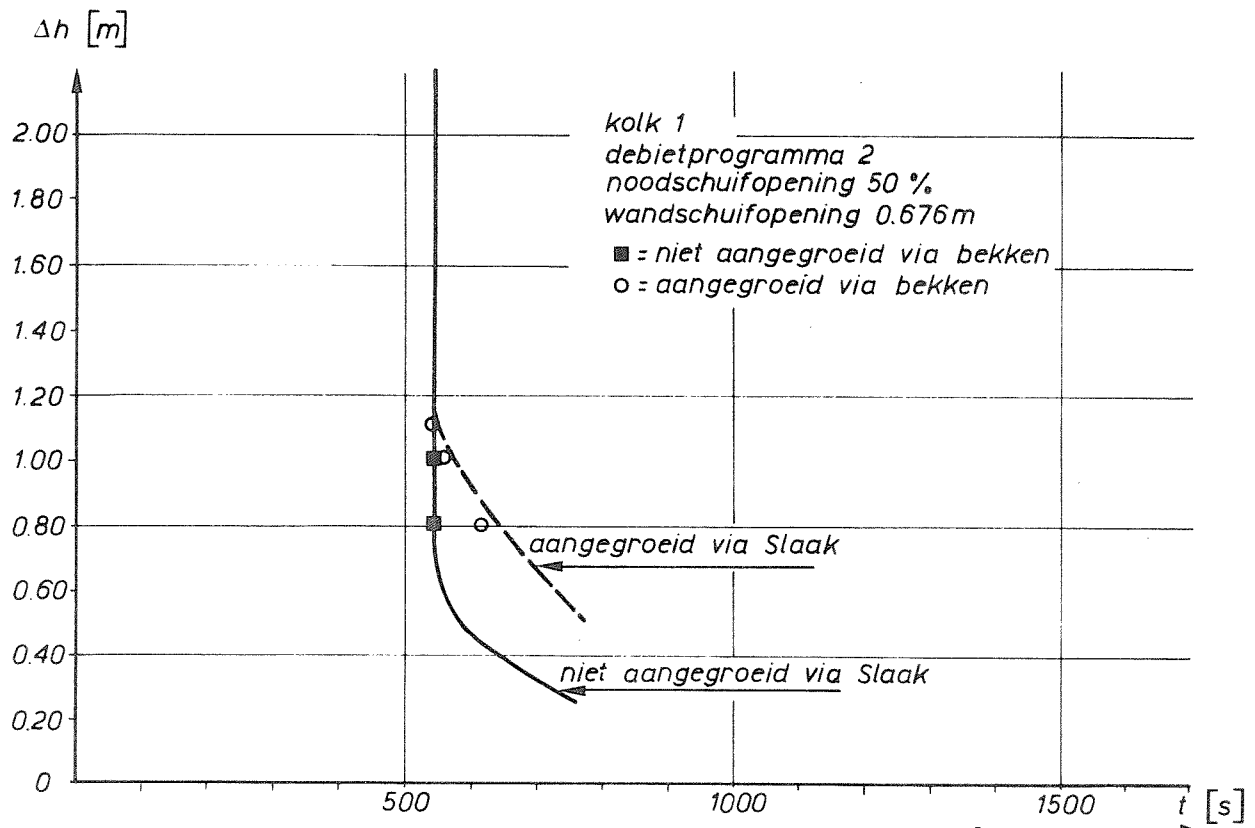


fig. 10a: Opwaarts uitwisselen met kolk 1 (uitwisselschijf $4.5 \times 7900 \text{ m}^3$)

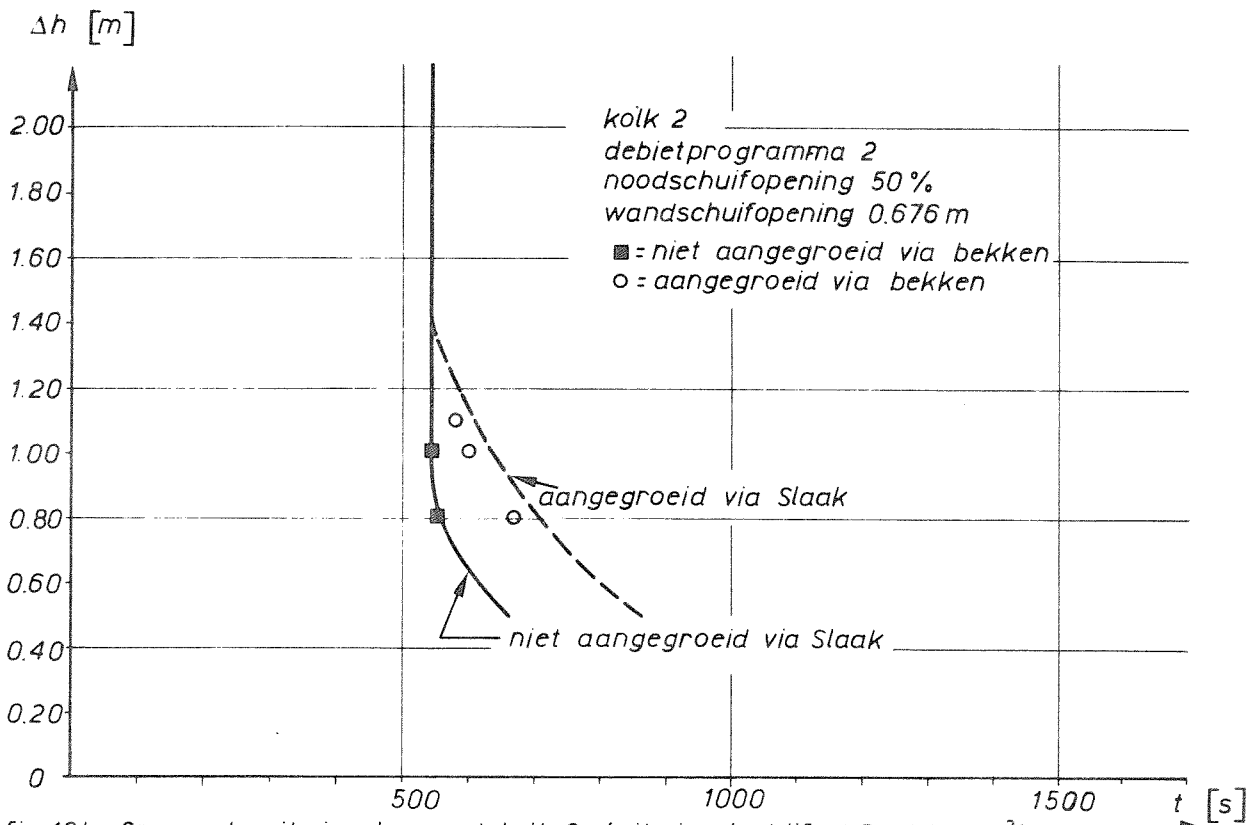


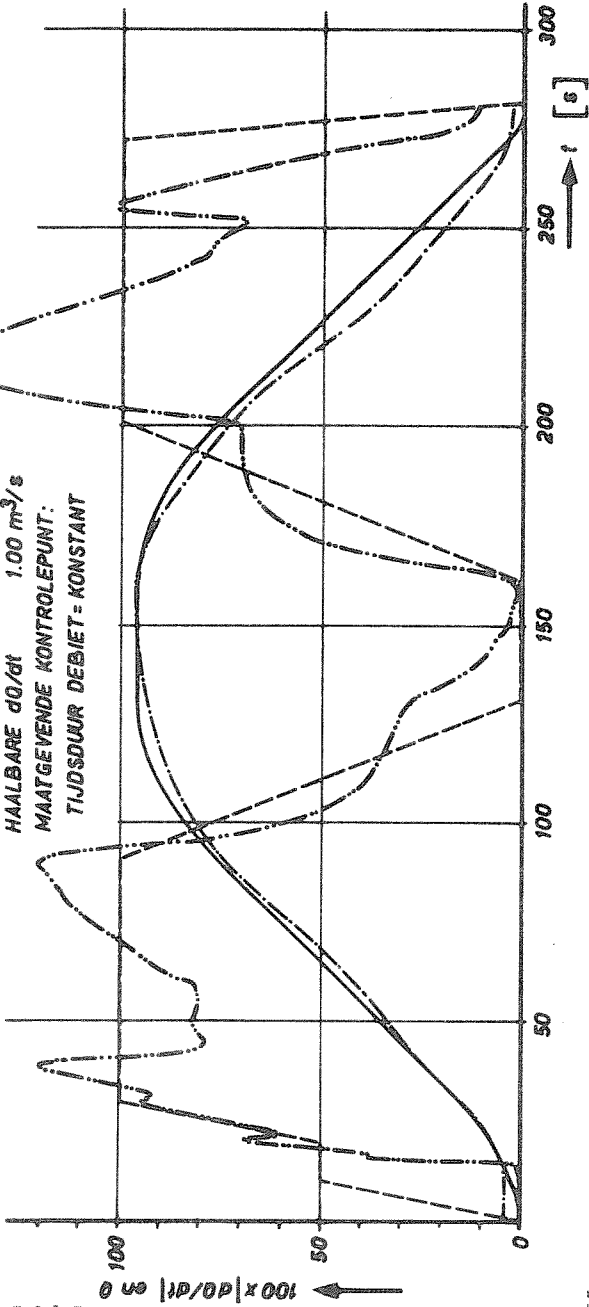
fig. 10b: Opwaarts uitwisselen met kolk 2 (uitwisselschijf $4.5 \times 7900 \text{ m}^3$)

UITWISSELTIJDEN VOOR OPWAARTS UITWISSELEN VIA
SLAAK EN VIA HOGE BEKKEN

A4

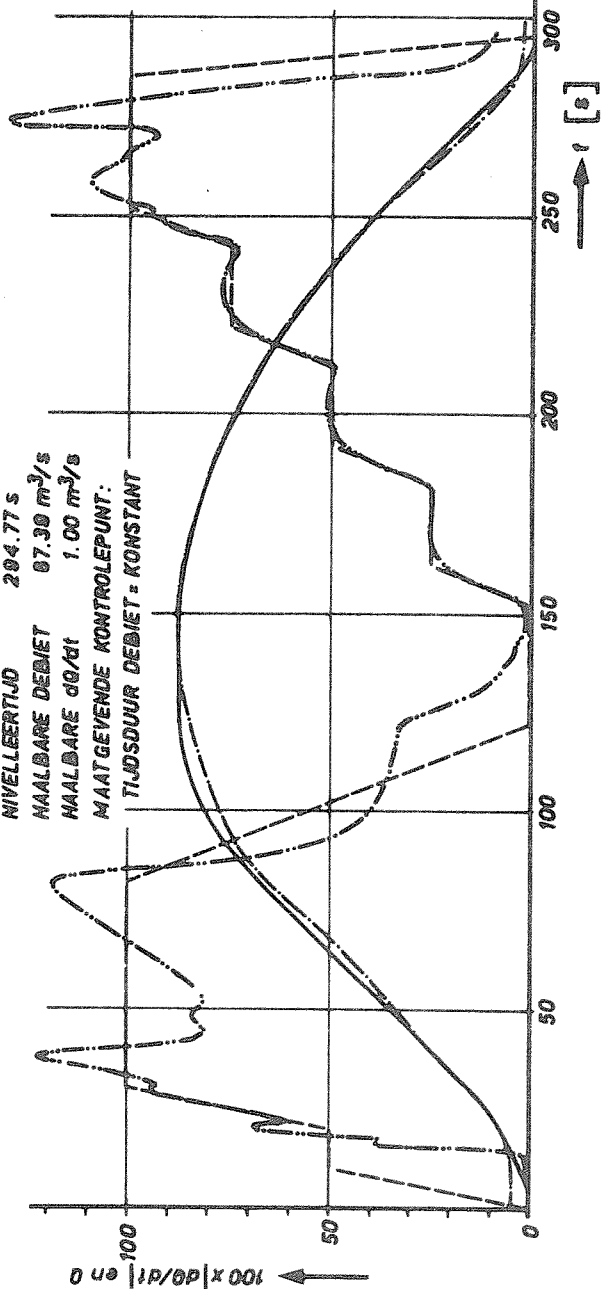
BASISDEBIETPROGRAMMA 2

NIVELLEERTIJD 281.53 s
 HAALBARE DEBIET 95.77 m³/s
 HAALBARE dQ/dt 1.00 m³/s
 MAATGEVENDE KONTOLEPUNT:
 TIJDSDUUR DEBIET = KONSTANT



BASISDEBIETPROGRAMMA 3

NIVELLEERTIJD 204.77 s
 HAALBARE DEBIET 87.30 m³/s
 HAALBARE dQ/dt 1.00 m³/s
 MAATGEVENDE KONTOLEPUNT:
 TIJDSDUUR DEBIET = KONSTANT



COLLE 1
 ROLLEN NIET AANSGEGROEID
 SCHRIJFRIJTING DOOMMEER
 NEERHART'S NIVELLEREN
 PEIL LAGE BEEKEN 71.25 m
 VERVAL BEKERTDOOMMEER 1.25 m
 WATERSTAND DOOMMEER 46.00 m
 RIJDLICHTIGHEID 1.50 m
 VERPLISKOEFFICIENT RIJDL 1.75
 LEIDEN VIA UITLATERN

MAXIMUM WAAKDE 100.00 m³/s
 GEBIET
 MAXIMUM WAAKDE DE-
 SIEDEBOUWSNELHEID 1.00 m³/s
 MAXIMUM WAAKDE
 SCHRIJF SNEELHEID 0.50 m/s
 MAXIMUM WAAKDE
 VERTIKALE KRACHT 100.00 kN
 MINIMALE TIJDS-
 DUUR SEKTIE 5 30.00 s

WATERSTAND ZIJDE +2.00 m NRP
 98MORTELWERDE VERVAL 3.25 m
 SCHUTSCHIJF 15000.00 m²

BASISDEBIETPROGRAMMA 2
 TE NIVELLEREN 2.00 m
 VIA VLKOLK 1.92 m GENIVELLEERD

BASISDEBIETPROGRAMMA 3
 TE NIVELLEREN 2.00 m
 VIA VLKOLK 1.98 m GENIVELLEERD

— Q } NIVDUW
 - - - dQ/dt }
 — Q } VLKOLK
 - - - dQ/dt }

VERGELIJKING VLKOLK EN NIVDUW

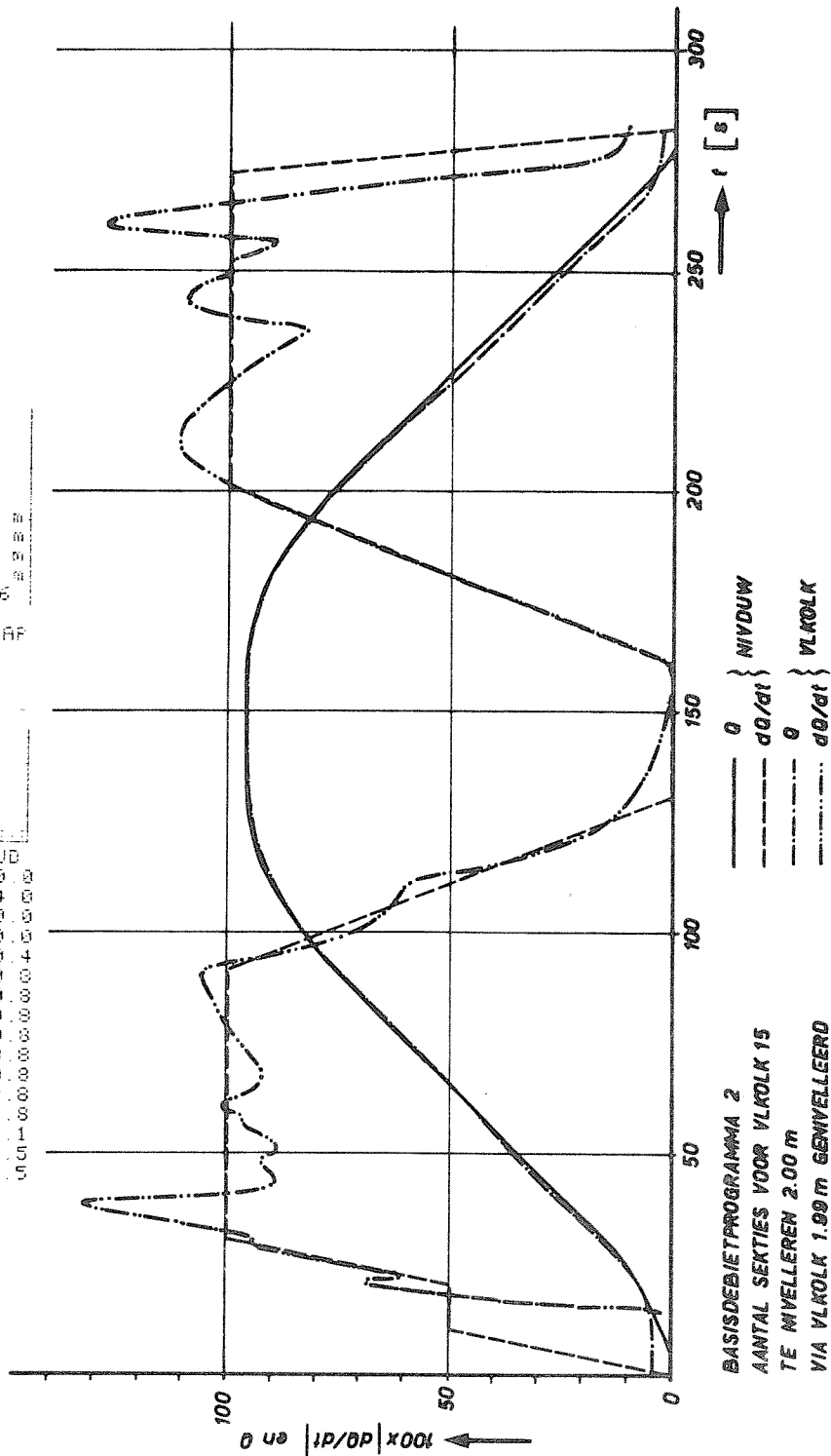
* KOLK 1
 * RIJLEN NIET AANGEGROEID
 * SCHUTRICHTING ZOOMMEER
 * NEERWAARTS NIVELLEREN

* PEIL LAGE BEKKEN -1.25 m
 * VERVAL BEKKEN-ZOOMMEER 1.25 m
 * WATERSTAND ZOOMMEER +0.00 m
 * RIJDLLENNGTE 169.67 m
 * VERLIESKOEFFICIENT RIJDL 1.76

WATERSTAND ZIJPE +2.00 m NAP
 AANRIJVENDE VERVAL 3.25 m
 SCHUTSCHIJF 15800.00 m³

NIVELLEERTIJD 281.53 s
 HAALBARE DEBIET 35.77 m³/s
 HAALBARE dQ/dt 1.00 m³/s²
 MAATGEVENDE KONTROLEPUNT:
 * TIJDSDUUR DEBIET=KONSTANT

TAK	POSIT	SNEL	VERSNEL	TIJD
1	-0.238	+0.000	+0.000	10.0
2	-0.238	+0.000	+0.000	14.0
3	-0.238	+0.043	+0.000	20.0
4	+0.020	+0.026	+0.000	30.0
5	+0.276	+0.026	+0.000	50.4
6	+1.059	+0.020	+0.000	90.0
7	+1.672	+0.011	+0.000	110.0
8	+1.898	+0.004	+0.000	130.0
9	+1.976	+0.004	+0.000	150.0
10	+2.096	-0.002	+0.000	170.0
11	+2.073	-0.006	+0.000	180.0
12	+2.020	-0.010	+0.000	190.0
13	+1.917	-0.015	+0.000	200.0
14	+1.771	-0.018	+0.000	236.1
15	+1.138	-0.033	+0.000	271.5
16	-0.027	-0.021	+0.000	281.5



BASISDEBIETPROGRAMMA 2
 AANTAL SEKTIES VOOR VLKOLK 15
 TE NIVELLEREN 2.00 m
 VIA VLKOLK 1.00 m GEWELLEERD

VERGELIJKING NIVDUW EN VLKOLK

A4

