

waterloopkundig laboratorium delft hydraulics laboratory

JACHTENSLUIZEN PHILIPSDAM

Voorlopige opzet besturingsschema's
en bepaling stuurparameters

Notitie

R1517-08

Juli 1984

INHOUD

1.0	Inleiding	1
2.0	Nivelleren naar Zoommeerpeil	2
2.1	Voorwaarden	2
2.2	Sturingsmethode	5
2.2.1	Opstarttijd van het pompdebiet	5
2.2.2	De reaktietijd van de waterstandsmeter.	9
2.2.3	Nivelleren niet noodzakelijk	14
2.2.4	Vervallen kleiner dan 0.30 a 0.35 m.	14
2.2.5	Vervallen groter dan 0.30 a 0.35 m.	17
3.0	Neerwaarts uitwisselen.	20
3.1	Einde neerwaarts uitwisselen	20
3.2	Begin neerwaarts uitwisselen	27
4.0	Nivelleren naar Zijpepeil	32
4.1	Opwaarts nivelleren	32
4.2	Neerwaarts nivelleren	32
5.0	Samenvatting	38

Tabel I Weerstandskoefficienten rioolschuif

Appendix A Rekenprogramma voor waterstandsvolger

Figuren 1 t/m 6

1.0 INLEIDING

In de notitie R1650-0 is in globale zin de sturing van het schutproces bij de jachtensluizen behandeld. In de notities R1650-I, II en III zijn nadere gegevens aangedragen voor de besturing van deze sluizen. In deze notitie worden de resultaten van deze notities samengevat tot een besturingsschema met daarbij de nodige vergelijkingen. Met deze vergelijkingen kunnen de nodige parameters voor het schutproces worden bepaald.

Deze notitie is ingedeeld volgens de verschillende fasen in het schutproces, en wel als volgt:

- o nivelleren naar Zoommeerpeil
- o neerwaarts uitwisselen
- o nivelleren naar Zijpepeil

Bij het behandelen van deze schutfasen is aandacht besteed aan de verschillende parameters welke het nivelleer- en uitwisselproces beïnvloeden. Hierbij kunnen worden genoemd maximum debiet, op- en afbouwtijd van het debiet, schuifstanden van doorlaatschuif en afdichtende regelschuiven etc.

De wijze waarop het schutproces verloopt is aangegeven in de figuren 4, 5 en 6 welke kort worden behandeld in de samenvatting van deze notitie.

Deze notitie is opgesteld door ir. D. Ludikhuize.

2.0 NIVELLEREN NAAR ZOOMMEERPEIL

Het nivelleren naar Zoommeerpeil geschiedt zowel in de laag- als hoogwaterfase met behulp van de pomp. Dit betekent dus dat de gemaalschuif gesloten dient te zijn en de doorlaatschuif geopend. Bij het nivelleren naar het Zoommeerpeil is de uiteindelijke waterstand in de kolk na het nivelleren van belang in verband met het begin van het neerwaarts uitwisselen. Deze waterstand zal binnen een nader te definiëren gebied moeten vallen in verband met het beperken van menging en zoutwaterverlies. De eigenlijke sturing van het nivelleerproces zal aan een aantal voorwaarden moeten voldoen. Aan de hand van deze voorwaarden kan een methode voor de sturing van deze schutfase worden opgesteld.

2.1 VOORWAARDEN

De voorwaarden voor de sturing van het nivelleren naar Zoommeerpeil kunnen worden opgesteld uitgaande van verschillende gezichtspunten. Hierbij zijn te noemen:

- o hydraulische randvoorwaarden voor wat betreft de stroming in het riool
- o randvoorwaarden in verband met het beginpeil in de kolk voor het neerwaarts uitwisselen
- o randvoorwaarden van de pomp
- o randvoorwaarden welke zijn gekoppeld aan de sturing van het nivelleerproces

De voorwaarden die uit deze verschillende gezichtspunten volgen zijn:

1. een opstarttijd van het debiet bij maximum pompdebiet groter dan 20 seconden
2. de pomp wordt gestuurd op konstant toerental in de tijd tussen op- en afbouw van het debiet
3. tussen op- en afbouw van het debiet dient een minimum tijdsduur van orde 20 seconden te worden aangehouden
4. het eindniveau in de kolk na het nivelleren naar Zoommeerpeil moet in verband met het uitwisselen binnen nauw omschreven grenzen te liggen
5. de waterstandsmeting in de kolk behoeft een zekere reaktietijd, gezien het feit dat het meetsysteem een zekere demping heeft in verband met golven in de kolk
6. de relatie tussen pompdebiet en verval is gegeven in figuur 1; dit zijn de gegevens over de pomp van 19 maart 1982
7. de pomp heeft waarschijnlijk een minimum toerental; dit betekent in feite ook dat de pomp een minimum debiet heeft, dit is met name belangrijk bij kleine vervallen

ad.1 opstarttijd debiet

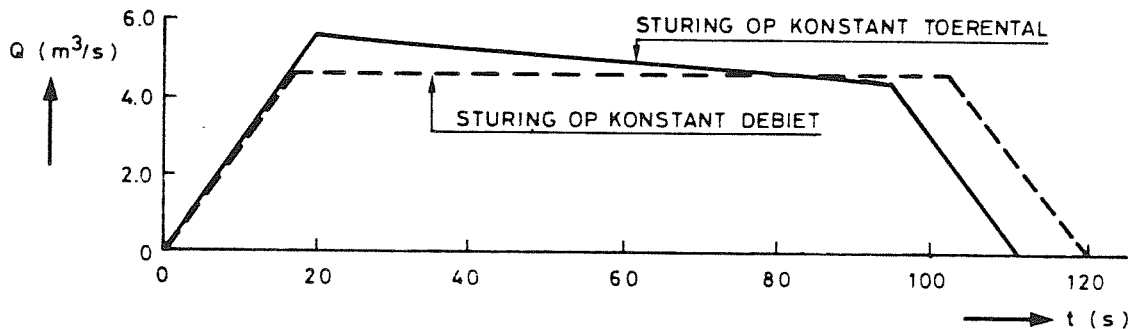
In R1650-3 (paragraaf 3.2) is aangegeven dat de opstarttijd van het debiet groter dient te zijn dan 20 seconden in verband met schachtslingeringen; hetzelfde geldt voor de afbouwtijd van het debiet. De pompfabrikant heeft aangegeven dat een op-, afbouw- tijd van 20 seconden het maximum is waar men aan kan voldoen in verband met warmte-ontwikkeling in de pompaandrijving. In deze notitie is deze problematiek verder uitgewerkt (zie paragraaf 2.2.1).

ad.2 sturing pomp volgens konstant toerental

Het is mogelijk om het pompdebiet uitgaande van twee methoden te sturen tussen op- en afbouw van het debiet. Deze methoden zijn:

- o sturing op konstant debiet
- o sturing op konstant toerental

Er is gekozen voor sturing op konstant toerental omdat deze sturingsmethode overeenkomt met die bij het neerwaarts uitwisselen met pompen. Tevens levert deze sturingsmethode een schuttijd-winst, omdat bij de sturingsmethode met konstant debiet het maximum debiet afhankelijk is van het eindverval; bij de sturing op konstant toerental wordt met een hoger aanvangsdebiet gestart. Dit is aangegeven in onderstaande figuur.



Figuur 2.1.1 Vergelijken sturingsmethoden nivelleren met pomp

ad.3 tijdsduur van konstant toerental

Uit oogpunt van de sturing van het nivelleren lijkt het zinvol om tussen op- en afbouw van het debiet gedurende 10 a 20 seconden een konstant toerental te handhaven. Deze tijd is in feite ook nodig voor de waterstandsmeting, maar daar wordt bij ad.5 op ingegaan. Een minimum tijdsduur van konstant toerental van 20 seconden lijkt voldoende.

ad.4 grenzen eindniveau in de kolk

Bij het nivelleren naar Zoommeerpeil zal het werkelijke Zoommeerpeil slechts met een bepaalde marge kunnen worden benaderd. Uit oogpunt van zout/zoet scheiding zijn er grenzen aan te geven waarbinnen het niveau in de kolk zich moet bevinden na het nivelleren naar Zoommeerpeil.

De bovengrens wordt bepaald door het feit dat bij het begin van het neerwaart uitwisselen bijna al het zoute water boven het Zoommeerpeil zal afstromen naar het omarmend zoet. Er wordt gesteld dat dit zoutwaterverlies klein moet zijn ten opzichte

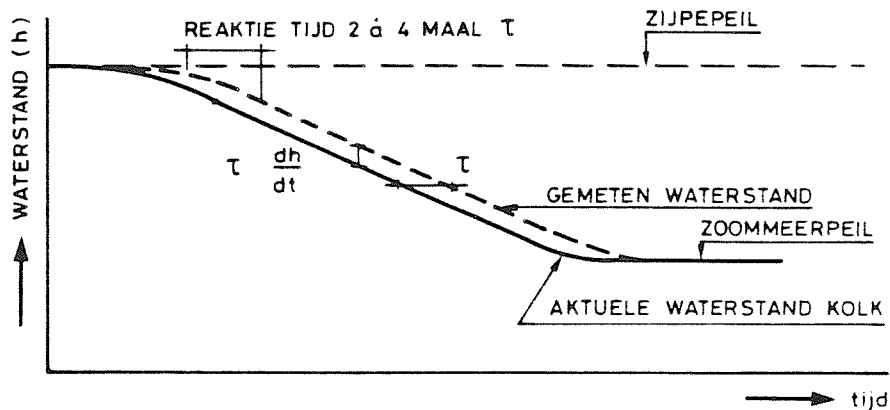
van het zoutwaterverlies aan het einde van het neerwaarts uitwisselen. In hoofdstuk 3 is aangegeven dat het zoutwaterverlies aan het einde van het neerwaarts uitwisselen orde 4% is, dit is het verlies van het brakke water boven de drempel van de sluis. Als nu wordt gesteld dat het zoutwaterverlies bij het begin van het uitwisselen een orde kleiner moet zijn, dan volgt dat de bovengrens ongeveer 0.015 m boven Zoommeerpeil is (0.5% van de uitwisselschijf van 3.0 m.).

De ondergrens volgt uit een analyse van de resultaten van het onderzoek M1529-III. In dit onderzoek is aangegeven dat de dichtheidsvertikalen van proeven met en zonder initieel waterstandsverschil nog niet veel van elkaar afwijken tot een waterstandsverschil van orde 0.10 m (zie figuur 2). Dit wordt dan ook de ondergrens voor het eindniveau van het nivelleren naar Zoommeerpeil.

Om een maximaal gebruik te maken van de gegeven ruimte tussen onder- en bovengrens van de eindwaterstand na nivelleren, dient voor de besturing het streefpeil in het midden tussen boven- en ondergrens te liggen; het streefpeil wordt dan (Zoommeerpeil-0.0425 m.).

ad.5 reaktietijd waterstandsmeting in de kolk

Gezien het feit dat er in het meetinstrument, dat de waterstand bepaalt, een demping is ingebouwd in verband met stoorgolven zal een waterstandsverloop niet direkt worden gevolgd. Er is een zekere tijd nodig voordat het niveau in het meetinstrument met eenzelfde snelheid verloopt als in de kolk. De demping van het instrument wordt gekarakteriseerd door de tijdsconstante tau. Dit is de tijdsduur tussen het bereiken van een bepaald niveau in de kolk en het aangeven van dit niveau door het meetinstrument uitgaande van een konstant debiet. De tijd die nodig is voordat de niveau's in de kolk en het meetinstrument ongeveer gelijk verlopen is ongeveer 2 a 4 maal tau. Dit is in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 2.1.2 Verloop waterstandsniveau in kolk en waterstands-meetinstrument

Een waarde voor de tijdsconstante tau is nog niet vastgesteld. Met behulp van de in de paragraaf 2.2.2 uitgevoerde exercitie is echter een advies te geven over de waarde van deze tijdsconstante.

2.2 STURINGSMETHODE

Het debietprogramma voor het nivelleren kan worden afgeleid uit de in de vorige paragraaf opgesomde voorwaarden. Een belangrijke voorwaarde is dat het debiet wordt afgebouwd als een bepaalde waterstand wordt bereikt. Belangrijk hierbij is dat een juiste waterstand kan worden gemeten dus dat de tijdsduur tussen op- en afbouw van het nivelleerdebiet voldoende groot is. Uitgaande van een op-en afbouwtijd van 20 a 30 seconden en een tijdsduur van ongeveer 20 seconden tussen op- en afbouw van het nivelleerdebiet, wordt de minimale nivelleertijd 60 a 80 seconden. Indien hierbij het maximum nivelleerdebiet wordt aangehouden dan betekent dit dat er een waterschijf van orde 0.30 m in of uit de kolk is gepompt. Gezien het feit dat het eindniveau in de kolk na het nivelleren tussen Zoommeerpeil +0.015 en -0.100 m moet liggen zal het debiet (toerental) van de pomp bij kleine vervallen moeten worden verlaagd.

Er zijn dan drie gebieden voor wat betreft het verval te onderscheiden, dit geldt zowel voor opwaarts als voor neerwaarts nivelleren naar Zoommeerpeil.

1. nivelleren niet noodzakelijk; de waterstand ligt tussen Zoommeerpeil -0.10 m. en Zoommeerpeil +0.015 m.
2. het verval kolk-Zoommeer is kleiner dan 0.30 a 0.35 m; het pompdebiet wordt gereduceerd, het pompdebiet wordt afgebouwd als een bepaalde waterstand wordt bereikt
3. het verval kolk-Zoommeer is groter dan 0.30 a 0.35 m; de pomp wordt gestuurd naar maximum toerental, het pompdebiet wordt afgebouwd als een bepaalde waterstand wordt bereikt

Voordat de sturingsmethode in deze verschillende gebieden wordt behandeld, dienen eerst nog enige algemene zaken te worden uitgewerkt. Dit zijn:

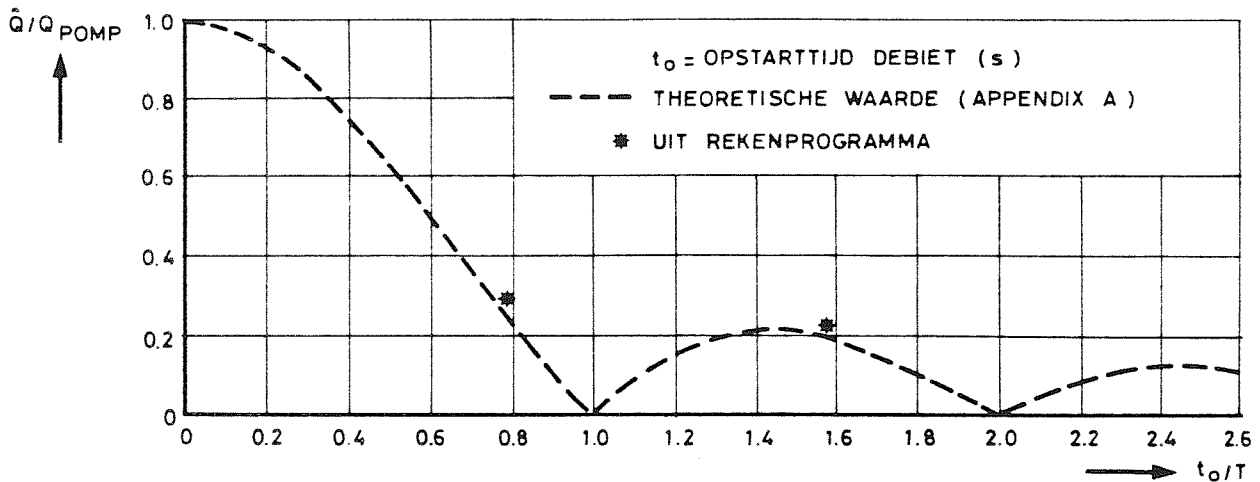
1. de opstarttijd van het pompdebiet in relatie tot de debietslingering
2. de reaktietijd τ van de waterstandsmeter in relatie met het minimum pompdebiet en de opstarttijd van het pompdebiet

2.2.1 Opstarttijd van het pompdebiet

In R1650-3 (appendix A) is afgeleid dat er een relatie bestaat tussen de opstarttijd van het debiet en de debietslingering. Deze debietslingering wordt veroorzaakt door de schachten in de riolen en is afhankelijk van het oppervlak van deze schachten. Met name de pompschacht van de jachtensluizen is erg groot in vergelijking met de afmetingen van de kolk. De onderstaande figuur 2.2.1.1 is overgenomen uit R1650-3 (paragraaf 3.2), deze

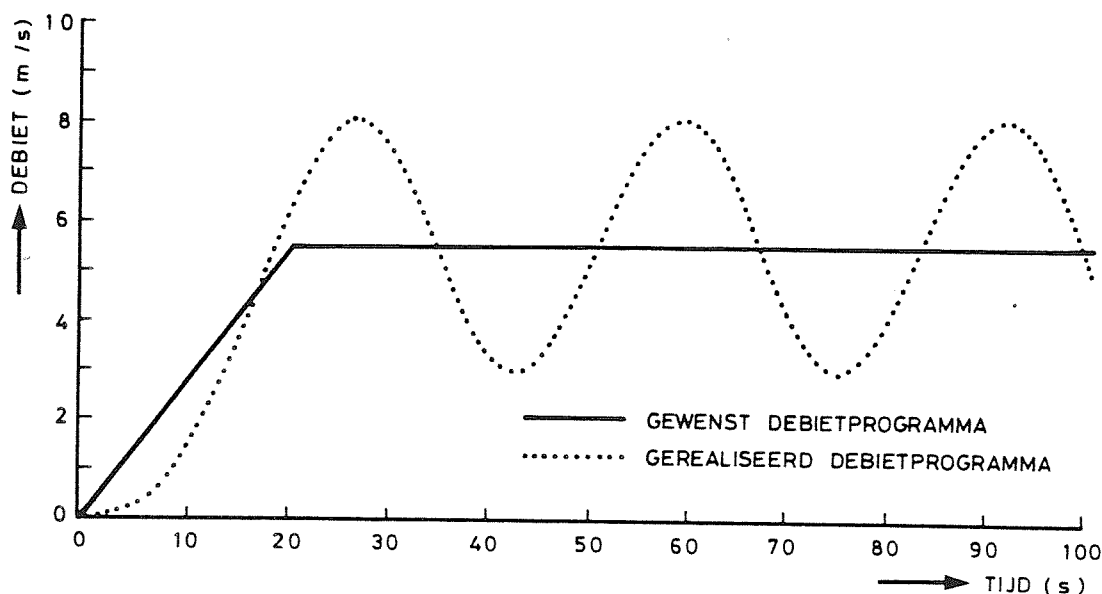
figuur geeft de relatie weer tussen de opstarttijd van het pompdebiet en de amplitude van de debietslingering. De in de onderstaande figuur gebruikte parameters hebben de volgende betekenis:

\hat{Q} = amplitude debietslingering $[\text{m}^3/\text{s}]$
 Q_{pomp} = gewenst maximum pompdebiet $[\text{m}^3/\text{s}]$
 T = periode slingering riool = 32 $[\text{s}]$



Figuur 2.2.1.1 Relatie tussen opstarttijd pompdebiet en amplitude debietslingering

In R1650-3 zijn de gevolgen van deze debietslingeringen aangegeven. Hierbij is met name ingegaan op de gevolgen voor de zout-zoet-scheiding. Een aspect is echter niet belicht namelijk het feit dat debietslingeringen translatiegolven veroorzaken in de kolk. Deze translatiegolven veroorzaken langskrachten op de schepen. Een voorbeeld van een debietverloop is gegeven in onderstaande figuur 2.2.1.2.



Figuur 2.2.1.2 Gewenst en gerealiseerd debietprogramma.

De helling van de translatiegolf wordt bepaald door de verandering van het debiet per tijdseenheid volgens (uit R1650-0 paragraaf 7.1):

$$i = \frac{dQ/dt}{g \cdot A_k} * 1000$$

i = helling translatiegolf [°/oo]

dQ/dt = verandering debiet per tijdseenheid [m^3/s]

g = versnelling zwaartekracht = 9,81 [m/s^2]

A_k = verticale doorsnede kolk [m^2]

2.1

In feite dient in de bovenstaande vergelijking ook de invloed van de schepen in de kolk op de translatiegolven te worden meegenomen. Daar echter de doorsnede van de schepen (jachten) gering is ten opzichte van de kolkdoorsnede, kan deze invloed worden verwaarloosd. Dit is ook aangegeven in figuur 2.2.1.4. Het debietverloop is ongeveer sinusvormig, daardoor kan de maximale verandering van het debiet per tijdseenheid worden afgeschat met:

$$(dQ/dt)_{\max} = \omega \cdot \hat{Q} \quad \text{waarin: } \omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

$(dQ/dt)_{\max}$ = maximale dQ/dt bij debietslingering [m^3/s^2]

\hat{Q} = amplitude debietslingering [m^3/s]

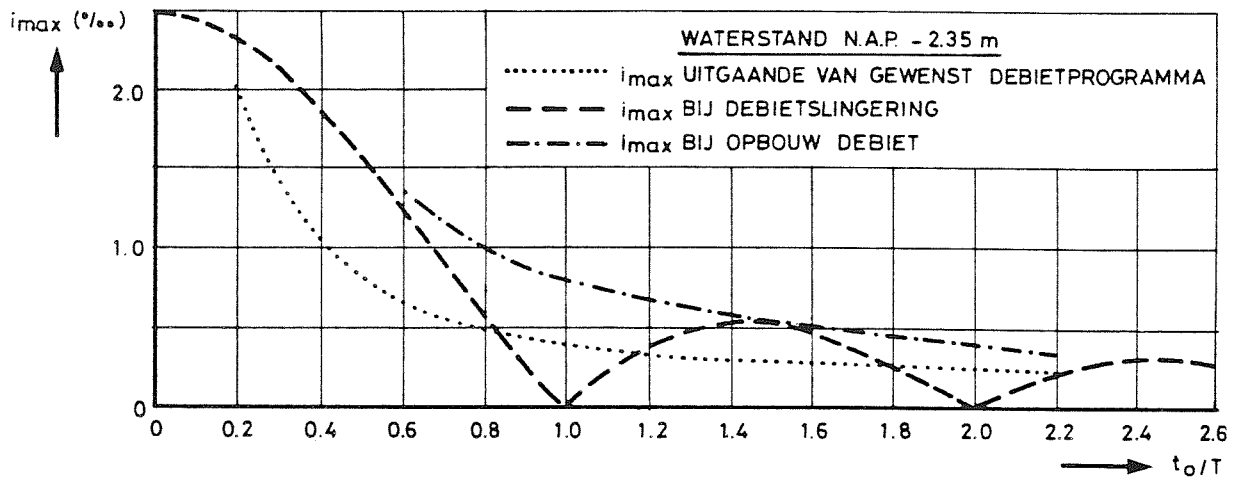
ω = hoekfrequentie debietslingering [1/s]

T = periode debietslingering [s]

2.2

Er kan nu een relatie worden gelegd tussen de opstarttijd van het pompdebiet en de helling van de translatiegolf. Dit is aangegeven in figuur 2.2.1.3; hierbij is uitgegaan van een periode

van de debietslingering van 32 seconden (zie R1650-3 appendix A en paragraaf 3.2). In deze figuur is tevens de helling van de translatiegolf aangegeven bij het opstarten van het debiet, dit wordt weergegeven door een kromme, die raakt aan de kromme welke de helling weergeeft ten gevolge van debietslingeringen. De helling van de translatiegolf bij het opstarten van het debiet is voor $t(0)/T$ groter dan 0.2, altijd groter dan de helling welke volgt uit het gewenste debietverloop. Bij zeer snel opstarten van het pompdebiet, $t(0)/T \ll 0.2$, kan de gewenste dQ/dt niet meer worden gerealiseerd, omdat het systeem van riool en pompschacht dit niet meer kan volgen.



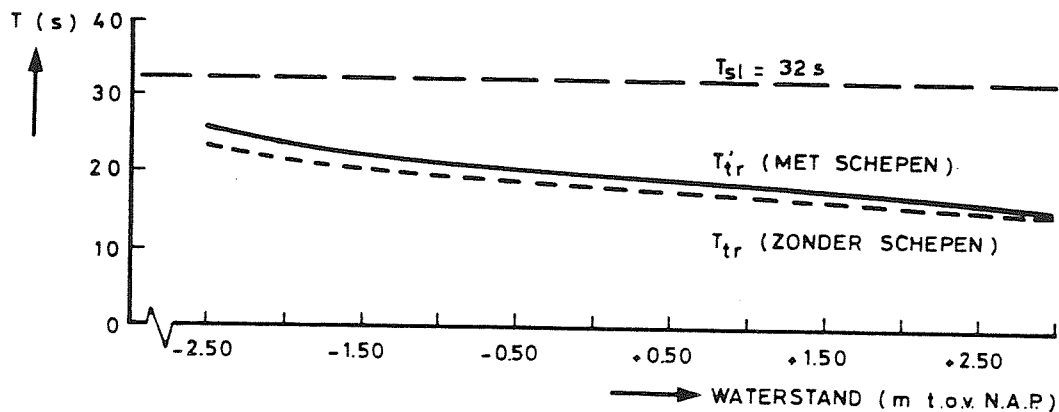
Figuur 2.2.1.3 Relatie tussen helling translatiegolf en opstarttijd debiet

In bovenstaande figuur is in feite de initiële helling van de translatiegolf aangegeven. De werkelijke helling in de kolk is in deze situatie met een sinusvormig variërend debiet moeilijk aan te geven. De vraag kan gesteld worden of er geen opslingering kan ontstaan in de kolk. Het is namelijk mogelijk dat de periode van de translatiegolf in de kolk overeenkomt met de periode van de debietslingering. Dit is uitgezet in onderstaande figuur 2.2.1.4. De periode van de translatiegolf in de kolk is hierbij bepaald met:

$$T_{tr} = \frac{2 \cdot L_k}{c} \quad \text{met} \quad c = \sqrt{g \cdot \frac{(A_k - A_s)}{b_k}}$$

- c = snelheid translatiegolf (flexibel schip) [m/s]
- b_k = breedte kolk = 9,1 [m]
- A_s = doorsnede schepen = 9,0 [m²]
- T_{tr} = periode kolkslingering [s]
- L_k = lengte kolk = 75 [m]

In de onderstaande figuur is voor de situatie met schepen de doorsnede van de schepen gesteld op 9 m²; in de situatie zonder schepen is deze doorsnede nul gesteld.

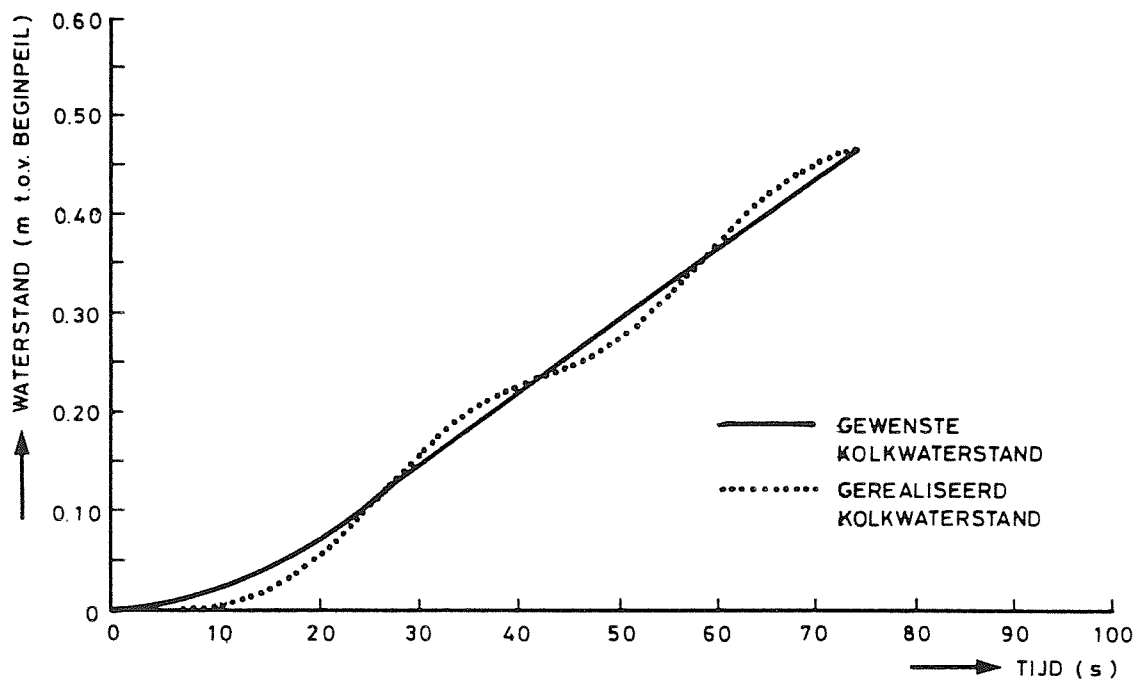


Figuur 2.2.1.4 Periode translatiegolf in de kolk als functie van de waterstand

Uit bovenstaande figuur kan worden afgeleid dat de periode van kolkslingering altijd geringer is dan die van de debietslingering. Er kan dus niet een echte opslingingering optreden, maar het blijft mogelijk dat translatiegolven elkaar versterken. Er wordt dan ook voorgesteld om niet uit te gaan van een langskrachtkriterium voor de jachten van 2.0 promille (aangehouden in R1650-3), maar van 1.0 promille. Dit betekent dat, uitgaande van figuur 2.2.1.3, de opstarttijd van het pompdebiet groter moet zijn dan 25 seconden. Indien deze opstarttijd niet kan worden gerealiseerd dan wordt geadviseerd om enige berekeningen uit te voeren met het rekenprogramma TROS, dat de langskrachten op schepen in een kolk berekent ten gevolge van een bepaald nivelleerdebiet. Er kan dan worden nagegaan of er sprake is van versterking van de translatiegolven.

2.2.2 De reaktietijd van de waterstandsmeter.

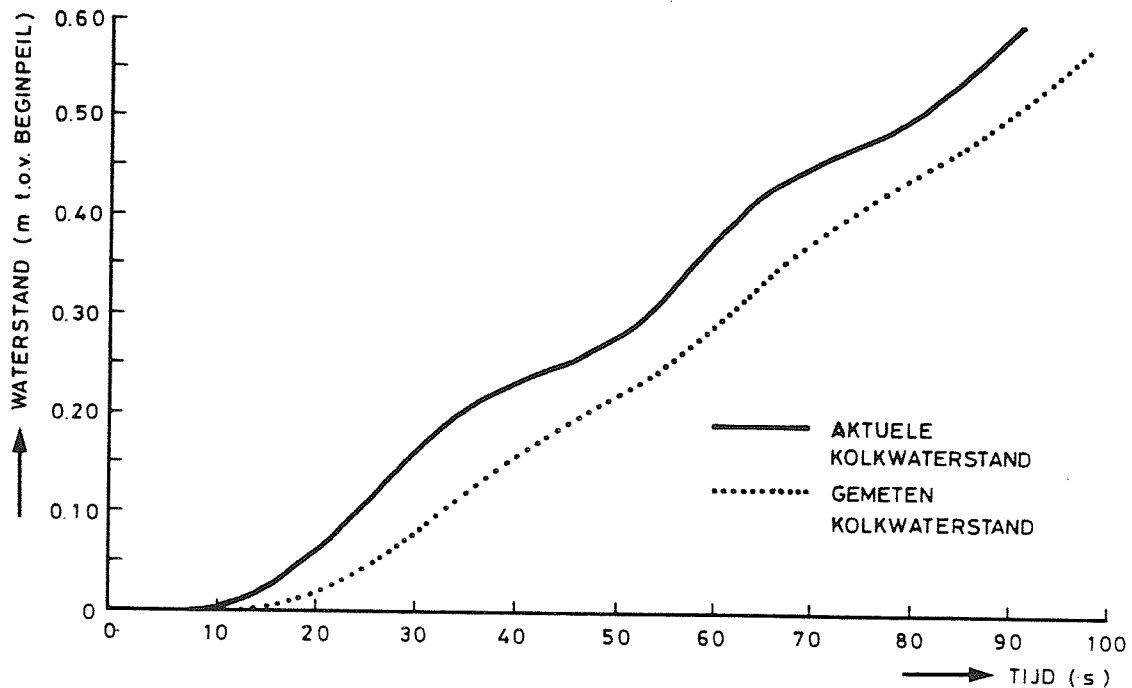
De reaktietijd τ van de waterstandsmeter is al gedefinieerd in paragraaf 2.1 (ad.5). Uit de gegevens van de waterstandsmeter volgt dat ongeveer 2 maal τ na de debiet-opbouw de stijg- of daalsnelheid van de kolkwaterstand goed wordt weergegeven door de waterstandsmeter. Uitgaande van de aanname dat de tijd van konstant debiet in een debietprogramma minimaal 20 seconden is, volgt dat τ kleiner moet zijn dan 10 seconden. Bovenstaande is afgeleid uitgaande van het gewenste debietprogramma. In de vorige paragraaf (figuur 2.2.1.1) is echter aangegeven dat er een duidelijk verschil is tussen het gewenste en het gerealiseerde debietprogramma. Door de variatie van het debiet zal ook de stijg- of daalsnelheid in de kolk variëren, dit is aangegeven in onderstaande figuur.



Figuur 2.2.2.1 Gewenste en gerealiseerd verloop van de kolkwaterstand

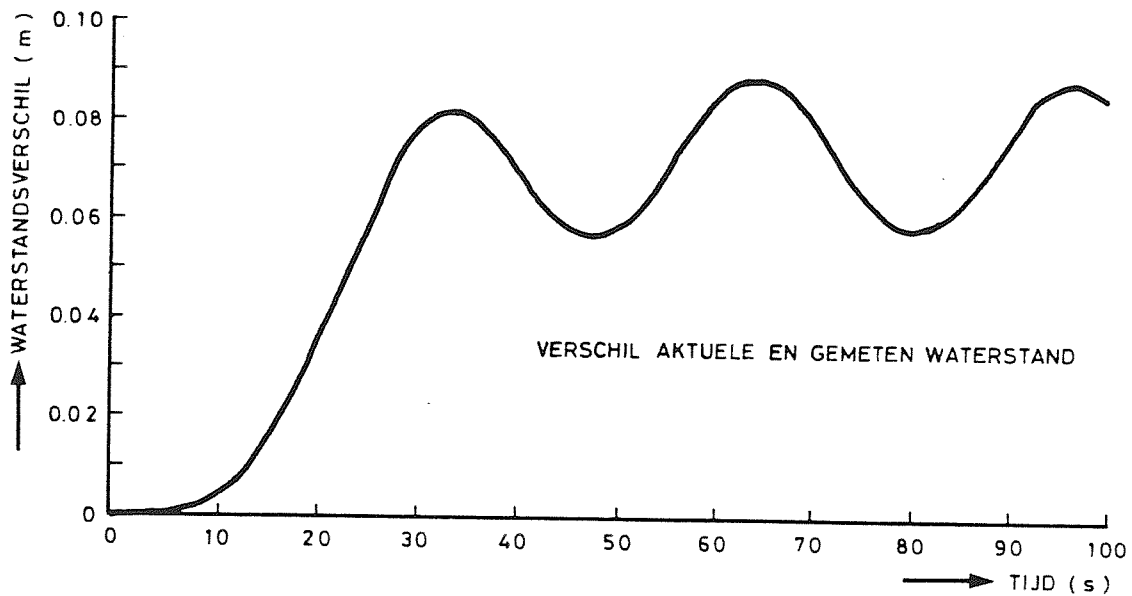
Het is de vraag of de waterstandsmeter deze variatie in het verloop van het waterstandsniveau volgt. Dit is uitgezocht met behulp van een rekenprogramma (appendix A), waarbij is uitgegaan van de aanname dat de demping van de waterstandsmeter lineair is. De resultaten van een berekening zijn weergegeven in de onderstaande figuur 2.2.2.2. Bij deze berekening zijn de volgende randvoorwaarden aangehouden:

- o het pompdebiet start in 20 seconden op naar het maximum debiet van 5.5 m³/s
- o de dempingskonstante tau van de waterstandsmeter is 10 seconden



Figuur 2.2.2.2 Aktuele kolkwaterstand en door waterstandsmeter gemeten waterstand

In de bovenstaande figuur 2.2.2.2 kan niet duidelijk het verschil tussen de aktuele kolkwaterstand en de gemeten waterstand worden gevolgd. Dit is daarom nog eens op een grotere schaal uitgezet in de onderstaande figuur 2.2.2.3.



Figuur 2.2.2.3 Verschil tussen aktuele kolkwaterstand en gemeten kolkwaterstand

Uit deze figuur 2.2.2.3 volgt dat het verschil tussen de aktuele kolkwaterstand en de gemeten waterstand ook sinusvormig gaat variëren nadat het pompdebiët is opgestart (20 sekonden). De sinusvorm wordt pas goed weergegeven na ongeveer 2 maal tau na de opstarttijd ($20 + 2 \cdot 10 = 40$ sek). Het verschil tussen aktuele en gemeten waterstand blijft sinusvormig variëren rondom een

gemiddelde waarde. Deze waarde is gelijk aan de waarde welke wordt gegeven door de door Directie Bruggen afgegeven vergelijking voor een debietprogramma met een konstant debiet na het opstarten (zie appendix A). De amplitude van de slingering is, voor de onderzochte waarden van tau (5-20 sek.), in absolute zin vrijwel onafhankelijk van de waarde van tau (0.013 a 0.015 m).

De vraag is welke tau dient te worden gekozen. Indien wordt uitgegaan van een periode van 20 seconden tussen op- en afbouw van het debiet dan dient tau kleiner te zijn dan 10 seconden. Er kan ook worden gekozen voor een iets andere benadering, namelijk aannemen dat de tijd tussen op- en afbouw van het debiet minstens 2 maal tau dient te zijn. Door deze benadering kan in de situaties met tau kleiner dan 10 seconden het schutproces iets sneller verlopen.

Bij de keuze van tau speelt ook het minimum debiet een rol. Een grotere tau leidt namelijk tot een grotere nivelleertijd. Er moet dan langer worden gepompt om een minimum volume te verzetten; dit betekent dus dat er met een geringer debiet moet worden gepompt. De vraag is of er bij het minimum debiet moet worden uitgegaan van een tijd tussen op- en afbouw van het debiet van 2 maal tau. De absolute fout in de waterstandsmeting is namelijk lineair afhankelijk van het maximum debiet. De absolute fout bij het minimum debiet is dan ook veel geringer dan bij het maximum debiet. Er kan dan ook worden gekozen voor een variant waarbij de tijd tussen op- en afbouw van 1 maal tau is bij minimum debiet. Deze tijd dient dan wel toe te nemen tot 2 maal tau als het debiet groter wordt. In de onderstaande figuur is de relatie gegeven tussen tau en het minimum debiet voor verschillende opstarttijden van het pompdebiet. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende vergelijkingen:

$$V_{\min} = \Delta h_{\min} \cdot \bar{F}_k$$

$$Q_{\min} = V_{\min} / (t_o + t_k)$$

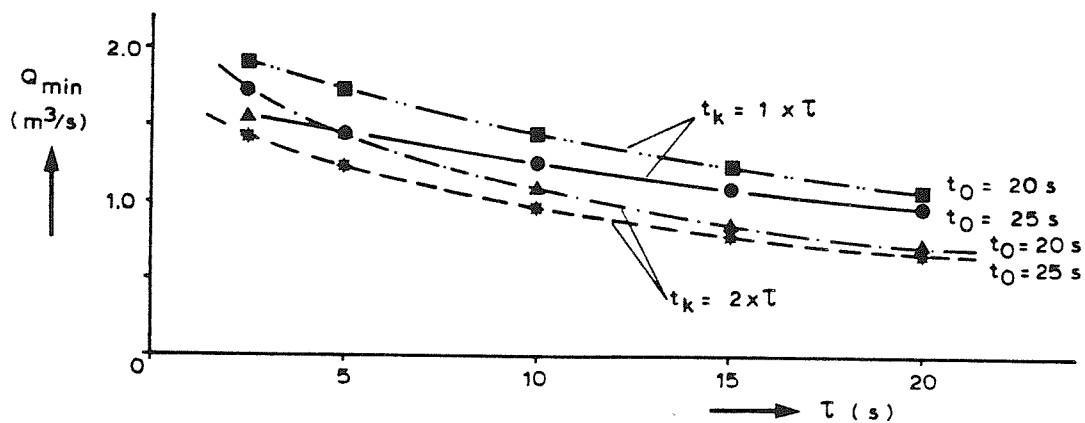
$$t_k = \tau + \tau \cdot \left(\frac{Q - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) \text{ of } t_k = 2 \cdot \tau$$

2.4

$$Q_{\min} = \text{minimum debiet} \quad [m^3/s]$$

$$V_{\min} = \text{minimum te verplaatsen volume} \quad [m^3]$$

$$\Delta h_{\min} = \text{minimum waterstandsverschil} = 0,0575 \text{ [m]}$$



Figuur 2.2.2.4 Relatie tussen tijdsconstante tau en het minimum pompdebiet

Aan de hand van bovenstaande figuur 2.2.2.4 en randvoorwaarden voor het minimum debiet, de opstarttijd van de pomp en mogelijk een minimum tijdsconstante tau kan de uiteindelijke tau worden afgeleid. In de onderstaande tabel zijn enige voorbeelden opgenomen voor de keuze van tau bij verschillende randvoorwaarden. In deze tabel is de maximaal te verwezenlijken tau opgenomen. Er kan in principe een kleinere tau worden gekozen.

randvoorwaarden	tau (konstant debiet gedurende $1 \times \tau$) (s)	tau (konstant debiet gedurende $2 \times \tau$) (s)
$Q_{min}=1.0$ $t_{op}=20$	25	20
$Q_{min}=1.0$ $t_{op}=25$	20	15
$Q_{min}=1.5$ $t_{op}=20$	10	5
$Q_{min}=1.5$ $t_{op}=25$	5	2.5

tabel 2.2.1 Maximale tijdsconstante tau van de waterstandsmeter voor verschillende randvoorwaarden

2.2.3 Nivelleren niet noodzakelijk

In eerste instantie dient de waterstand in de kolk getest te worden op de grenzen gesteld aan het eindniveau in de kolk na het nivelleren naar Zoommeerpeil. Indien de kolkwaterstand tussen deze grenzen ligt hoeft er niet te worden genivelleerd. Er kan dan direkt worden begonnen met uitwisselen. De waterstand in de kolk moet dan voldoen aan:

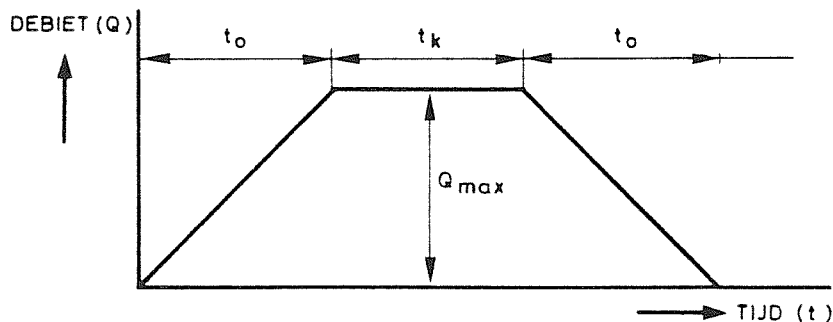
$$h_{Zm} - 0,100 \leq h_{kolk} \leq h_{Zm} + 0,015 \quad 2.5$$

waarin: h_{Zm} = waterstand Zoommeer [m t.o.v. NAP]

h_{kolk} = waterstand kolk [m t.o.v. NAP]

2.2.4 Vervallen kleiner dan 0.30 a 0.35 m.

Bij kleine vervallen wordt het toerental van de pomp gereduceerd. Het einde van het nivelleren wordt bepaald aan de hand van een waterstandsmeting. De grens voor dit gebied van kleine vervallen is te bepalen aan de hand van het debietprogramma bij maximaal toerental met de minimale tijdsduur; dit is in de onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 2.2.4.1 Debietprogramma bij maximum toerental met minimale tijdsduur

De grens van het gebied van kleine vervallen is dan als volgt te bepalen:

het verplaatste volume: $V = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot Q_{\max} \cdot t_o + Q_{\max} \cdot t_k$

het verloop in de kolk: $V = \Delta h \cdot \bar{F}_k$

er volgt dan : $\Delta h_{\min} = \frac{Q_{\max} \cdot t_o + Q_{\max} \cdot t_k}{\bar{F}_k}$

er moet gelden dat : $\Delta h < \Delta h_{\min}$

2.6

waarin: V = te verplaatsen volume [m³]
 Q_{\max} = maximum nivelleerdebiet (afhankelijk van nivelleerrichting) [m³/s]
 t_o = tijdsduur opstarten debiet [s]
 t_k = tijdsduur konstant toerental [s]
 \bar{F}_k = gemiddeld kolkoppervlak [m²]
 Δh_{\min} = grens voor gebied met klein verval [m]
 Δh = verval Zijpepeil - eindniveau kolk [m]
 $\Delta h = h_{Zp} - (h_{Zm} - 0,0425)$
 h_{Zp} = waterstand Zijpe [m]

Uitgaande van een opstarttijd van 25 seconden, een tijdsconstante tau van 10 seconden en een tijd tussen op- en afbouw van het debiet van 2 maal tau (20 seconden) volgt dan een verval van 0.33m.

De sturing in het gebied van kleine vervallen verloopt als volgt:

1. bepaal het debiet waarmee het gemeten kleine verval kan worden verzet; hierbij kan worden meegenomen dat de tijd tussen de op- en afbouw van het debiet afhankelijk is van de waarde van het debiet; de op- en afbouwtijd van het debiet varieert niet en wordt gesteld op 20 of 25 seconden
2. bepaal aan de hand van het minimum debiet en de pompgrafiek het in te stellen maximum toerental van de pomp
3. bepaal de waterstand (volgens de waterstandsmeter) waarbij het pompdebiet moet worden afgebouwd

ad.1 bepaal het debiet

Het pompdebiet volgt uit het te verplaatsen volume, dit volume volgt uit:

$$V = \int_{h_{Zm}-0,0425}^{h_{Zp}} F_k(h) \cdot dh$$

2.7

waarin: F_k = kolkoppervlak [m^2]

h = waterstand (m t.o.v. NAP)

Deze integraal is in deze notitie benadert met:

$$V = \bar{F}_k \cdot (h_{Zp} - (h_{Zm} - 0,0425))$$

2.8

Dit volume moet door de pomp worden verplaatst. Hierbij wordt uitgegaan van het gewenste debietprogramma en niet van het gerealiseerde debietprogramma. Afwijkingen worden verwerkt in de toegestane spreiding rondom de te bereiken Zoommeerwaterstand. Dit door de pomp te verplaatsen volume volgt in principe uit:

$$V = \int_0^{t_{niv}} Q(t) dt$$

2.9

waarin: t_{niv} = nivelleertijd [s]

In deze notitie wordt dit volume benaderd met:

$$V = Q_{max} \cdot (t_o + t_k)$$

2.10

Bij deze benadering is aangenomen dat (bij kleine vervallen) het maximum pompdebiet konstant is. Dit is een redelijke benadering, omdat het verval niet echt veel wijzigt in het beschoude vervalgebied.

Het maximum pompdebiet volgt uit het gelijk stellen van bovengenoemde volumina:

$$Q_{max} = \bar{F}_k (h_{Zp} - (h_{Zm} - 0,0425)) / (t_o + t_k)$$

2.11

ad.2 toerental pomp

Als het in te stellen maximum pompdebiet is bepaald volgt uit de pompgrafiek en enige informatie over de ruwheid van het riool (schoon-vuil riool) het toerental waar de pomp naar toe moet worden gestuurd.

ad.3 afbouw pompdebiet

Het pompdebiet dient te worden afgebouwd als een bepaalde waarde van de kolkwaterstand wordt bereikt. Hierbij moet nog rekening worden gehouden met het te verplaatsen volume tijdens het afbouwen van het pompdebiet. Hiervoor geldt:

$$h'_{af} = (h_{Zm} - 0,0425) + Q_{max} \cdot t_o / (2 \cdot \bar{F}_k)$$

2.12

Daar de waterstand wordt gemeten door een waterstandsmeter welke achterloopt op de eigenlijke kolkwaterstand dient deze waarde van de waterstand waarbij het pompdebiet wordt afgebouwd nog enigszins gekorrigeerd te worden. Deze korrektie is gebaseerd op de gemiddelde afwijking tussen aktuele kolkwaterstand en gemeten waterstand:

$$h_{af} = h'_{af} + \tau \cdot Q_{\max} / \bar{F}_k$$

waarin: h_{af} = waterstand waarbij debiet wordt uitgebouwd [m t.o.v. NAP] 2.13
 τ = tijdsconstante tau van waterstandsmeter [s]

Een foutenbeschouwing met betrekking tot deze sturingsmethode is opgenomen in paragraaf 2.2.5.

2.2.5 Vervallen groter dan 0.30 a 0.35 m.

In het gebied met de grotere vervallen kan de pomp naar het maximum toerental worden gestuurd. De vergelijkingen voor het bepalen van de grens van dit gebied zijn gegeven in paragraaf 2.2.4. Ook in dit verval-gebied wordt het debiet afgebouwd als de waterstand in de kolk een bepaalde waarde bereikt. In feite behoeft in deze situatie alleen de waterstand bepaald te worden waarbij het debiet moet worden afgebouwd. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat het debiet tijdens het nivelleren niet konstant is. Doordat het verval tijdens het nivelleren toeneemt, neemt het debiet van de pomp af. Deze verandering van het pompdebiet gaat dusdanig langzaam, dat dit niet behoeft te worden meegenomen bij de beschouwing over de demping van de waterstandsmeter.

In deze situatie zal de besturing gebaseerd zijn op:

1. het bepalen van het debiet vlak voor de afbouw van het pompdebiet
2. het bepalen van de waterstand waarbij het pompdebiet moet worden afgebouwd

Hierna is nog een foutenbeschouwing opgenomen over deze sturingsmethode. Hierbij gaat het voornamelijk om de vraag of het mogelijk is om met deze sturingsmethode de waterstand na het nivelleren binnen de gestelde grenzen te laten eindigen.

ad.1 bepalen debiet voor afbouw

Het debiet vlak voor de afbouw van het pompdebiet kan worden afgeleid uit verval tussen Zoommeer en Zijpe, informatie over de ruwheid van het riool en de pompgrafiek (zie figuur 1). In feite is in dit verval niet het volume te verplaatsen water bij de afbouw van het debiet verwerkt, maar dat heeft vrijwel geen invloed.

ad.2 waterstand bij debietafbouw

De waterstand waarbij het pompdebiet dient te worden afgebouwd kan op dezelfde wijze worden bepaald als in de situatie met kleine vervallen.

foutenbeschouwing

Het doel van deze foutenbeschouwing is om na te gaan of bij deze besturingsmethode de uiteindelijke waterstand van de kolk na het nivelleren naar Zoommeerpeil binnen de gestelde grenzen ligt. Hierbij is in feite alleen de afbouw van het debiet belangrijk. Bij de afbouw van het debiet treden de volgende fouten op:

- o fout volgend uit fouten in het debiet vlak voor de afbouw, het kolkoppervlak, de afbouwtijd van het debiet en de tijdsconstante tau van de waterstandsmeter
- o fout in de gemeten waarde van de kolkwaterstand ten gevolge van debietslinteringen; deze fout is maximaal 0.015m
- o fouten in de waterstand ten gevolge van waterstandsverschillen in lengterichting van de kolk; deze fout is ongeveer 0.02 a 0.03 m

De fout in de bepaling van de waterstand waarbij het pompdebiet moet worden afgebouwd kan worden bepaald uit de volgende vergelijking:

$$\frac{\Delta h_{af}}{h_{af}} = \frac{\Delta Q_{max}}{Q_{max}} + \frac{\Delta t_o}{t_o} + \frac{\Delta \tau}{\tau} + \frac{\Delta F_k}{F_k}$$

2.14

Δ = aanduiding voor absolute fout

De relatieve fout in het pompdebiet is maximaal ongeveer 10%; dit geldt met name bij kleinere debieten. De relatieve fout in het kolkoppervlak is ongeveer 5%, ook de relatieve fout in de afbouwtijd en de tau is afgeschat op 5%. Dit betekent dat de totale fout in de korrektie op de Zoommeerwaterstand maximaal ongeveer 25% is. Uitgaande van het maximale pompdebiet vlak voor de debietafbouw (5.5 m³/s) volgt dat deze fout absoluut ongeveer 0.04m is.

De totale fout bij de debietafbouw is bepaald uitgaande van de kwadratische voortplanting van fouten. De totale fout volgt dan uit:

$$\Delta h_k = \sqrt{(\Delta h_{af})^2 + (\Delta h_{sl})^2 + (\Delta h_{tr})^2} =$$

$$= \sqrt{(0,04)^2 + (0,015)^2 + (0,020 \text{ à } 0,03)^2} = 0,047 \text{ à } 0,052 \text{ m} \quad 2.15$$

Δh_k = maximale fout kolkwaterstand na nivelleren
naar Zoommeerpeil [m]

In dit geval is de totale fout dan ongeveer 0.05m. Als wordt gestuurd op het gemiddeld peil tussen de gestelde grenzen zal de uiteindelijke kolkwaterstand altijd aan de gestelde eisen voldoen.

3.0 NEERWAARTS UITWISSELEN.

Bij het neerwaarts uitwisselen zijn een aantal voorwaarden aan te geven waaraan de debiet- en schuifprogrammering moet voldoen. Deze voorwaarden zijn globaal te verdelen in voorwaarden voor het begin van het uitwisselen en voorwaarden voor het eind van het uitwisselen.

voorwaarden begin neerwaarts uitwisselen

- o het Froude-intern-getal is een criterium voor de stroming bij de afdichtende regelschuiven
- o in het geval van pompen een opstarttijd van de pomp van meer dan 20 seconden; tevens dient dan de tijd tussen einde nivelleren naar Zoommeerpeil en begin neerwaarts uitwisselen 42 dan wel 74 seconden te zijn (zie R1650-03 paragraaf 3.2).

voorwaarden einde neerwaarts uitwisselen

- o het voorkomen van "niet-selektief afzuigen", dat wil zeggen het meezuigen van zoet water bij het einde van het uitwisselen
- o het voorkomen van hoge interne golven welke ontstaan bij het afbouwen van het uitwisseldebiet
- o het zoutwaterverlies van de jachtensluizen; in deze notitie is er van uitgegaan dat het volume van het zoutwaterverlies van de jachtensluizen een orde kleiner is dan dat van de duwvaartsluizen
- o een voldoende laag niveau van het scheidingsvlak, zodat overslag van zout water over de drempel aan de Zoommeerzijde niet of nauwelijks optreedt

Hiernavolgend worden bovenstaande voorwaarden behandeld en ingepast in het besturingsschema van de jachtensluizen. Hierbij is evenals hierboven een onderscheid gemaakt in het begin en het eind van het neerwaarts uitwisselen. Gezien het feit dat er uit de voorwaarden voor het einde van het neerwaarts uitwisselen beperkende voorwaarden voor het begin van het uitwisselen volgen wordt eerst het einde van het neerwaarts uitwisselen behandeld.

3.1 EINDE NEERWAARTS UITWISSELEN

In deze paragraaf worden eerst de verschillende voorwaarden voor het einde van het neerwaarts uitwisselen behandeld. Uit deze voorwaarden volgen zowel voor het einde als voor het begin van het uitwisselen beperkingen. Deze beperkingen kunnen worden ingebracht bij het afleiden van het maximum uitwisseldebiet en de uitwisseltijd.

Bij het einde van het uitwisselen gelden de volgende voorwaarden:

- o tegengaan afzuigen zoet water naar het zoutwaterriool
- o tegengaan overslag zout water over de drempel ten gevolge van de interne golf op het scheidingsvlak welke ontstaat door het afbouwen van het uitwisseldebiet (zie R1650-0 appendix A).
- o tegengaan van overslag van zout water over de drempel ten gevolge van interne golven door scheepvaart. In R1650-0 (appendix B) is afgeleid dat de amplitude van deze golf beperkt blijft tot orde 0.50m, zodat een eindpositie van het scheidingsvlak 0.50 m onder de drempel voldoende moet zijn.
- o het zoutwaterverlies welke ontstaat door het achterblijven van brak water boven de drempel, moet in volumina ongeveer een orde kleiner zijn dan het zoutwater verlies van de duwvaartsluizen.

In R 1650-0 (paragraaf 1) is aangegeven dat het uitwisseldebiet niet te groot mag worden in verband met het optreden van het aanzuigen van zoet water naar het zoutriool. Door het aanzuigen van zoet water wordt de positie van het scheidingsvlak ongedefinieerd. Er zou in die situatie een extra zoutverlies optreden, omdat het scheidingsvlak hoger ligt dan was verwacht. Tevens ontstaat er dan een zoetwaterbel in het riool, welke problemen geeft bij het opwaarts nivelleren; het zoete water uit het riool komt dan door de zoutwaterlaag bij de bodem omhoog en vormt zogenaamde "bloemkolen" aan het wateroppervlak; deze situatie is niet gewenst gezien de grootte van de schepen. Er dient dan ook te worden uitgegaan van het selectief afzuigen van zout water. Het selectief afzuigen kan worden beschreven met de volgende vergelijking, welke is overgenomen uit de notitie "Selectief afzuigen onder de geperforeerde vloer" (R1370 maart 1979).

$$a_2 \geq \left(\frac{Q_{\text{uitw}}}{b_r \cdot D \cdot 0,8} \right)^2 \frac{1}{2 \cdot \epsilon \cdot g} + D$$

waarin: a_2 = dikte zoutlaag boven bodem

(t.o.v. NAP -6,90 m) [m]

b_r = breedte instroming riool = 7,3 [m]

D = hoogte instroming riool = 1,7 [m]

3.1

Uit deze vergelijking kan worden afgeleid dat bij het toenemen van het uitwisseldebiet de zoutwaterlaag boven de sluisbodem dikker moet worden om het aanzuigen van zoet water tegen te gaan. Dit betekent dus dat het eindniveau van het neerwaarts uitwisselen volgens dit criterium hoger komt te liggen met het toenemen van het uitwisseldebiet.

Deze voorwaarde kan gekombineerd worden met de volgende voorwaarde: het tegengaan van overslag van zout water over de drem-

pel door interne golven veroorzaakt door het afbouwen van het uitwisseldebiet.

In R1650-0 (paragraaf 3.3.1) is afgeleid dat de hoogte van deze interne golf kan worden beschreven met:

$$\eta_i = \frac{Q_{\text{uitw}} \cdot c_i}{\epsilon \cdot g \cdot b_k \cdot a_2}$$

waarin: c_i = snelheid interne translatiegolf [m/s]

b_k = breedte kolk = 9,1 [m]

$$c_i = \sqrt{\epsilon \cdot g \cdot \frac{a_1 \cdot a_2}{a}}$$

3.2

a_1 = dikte zoetlaag [m]

a = waterdiepte, dat wil dus
zeggen ($a_1 + a_2$) [m]

Aan de voorwaarde dat geen overslag over de drempel plaatsvindt wordt voldaan als geldt:

$$\eta_i + a_2 \leq p_{\text{dr}} - p_b$$

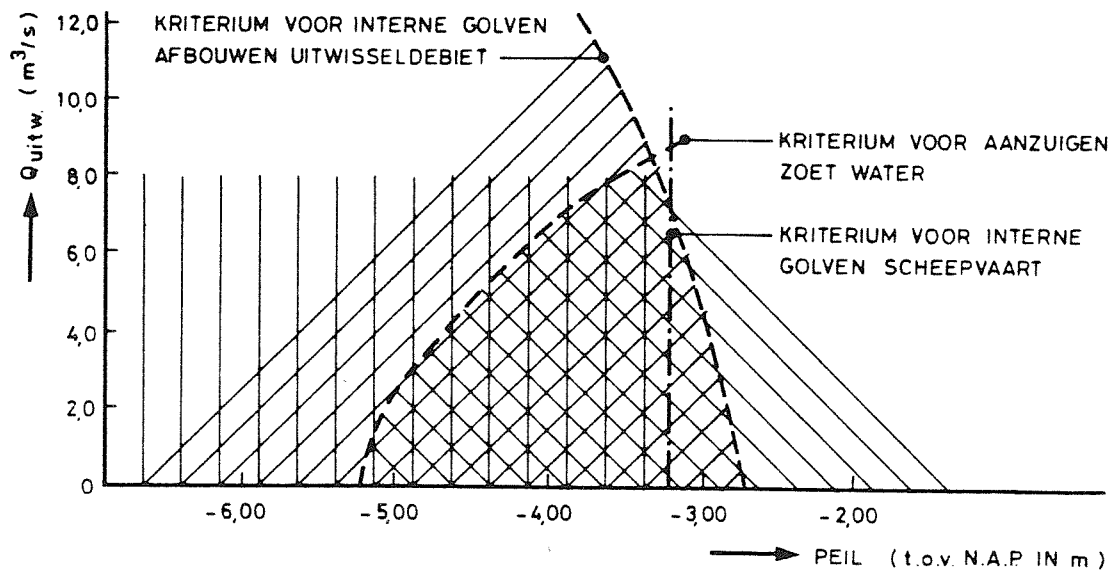
waarin: p_b = peil bodem = -6,90 [m t.o.v. NAP]

3.3

p_{dr} = peil drempel = -2,70 [m t.o.v. NAP]

Ten aanzien van de interne golven ten gevolge van het uitvaren van schepen geldt eenzelfde voorwaarde. In R1650-0 is afgeleid dat deze interne golven bij een dichtheidsverschil van 20 kg/m³ een amplitude hebben van ongeveer 0.50 m. Dit betekent dus dat het scheidingsvlak in ieder geval lager moet liggen dan N.A.P. -3.20m. Na het uitwisselen dient de zoutwaterlaag dus niet dikker te zijn dan 6.9-3.2=3.7m.

Bovengenoemde voorwaarden zijn in de situatie met een dichtheidsverschil van 20 kg/m³ en een kolkwaterstand van N.A.P. samengevat in onderstaande figuur.



Figuur 3.1.1 Debiet als functie van de positie van het scheidingsvlak in de vertikaal.

In bovenstaande figuur (figuur 3.1.1) is het gebied waar aan alle drie de voorwaarden wordt voldaan drie maal gearceerd. In de gebieden waarin slechts een of twee arceringen voorkomen wordt dus slechts aan een of twee voorwaarden voldaan. Deze figuur is afgeleid voor de situatie met een kolkwaterstand op N.A.P. en een dichtheidsverschil van 20 kg/m³. Voor deze situatie kan worden gekonkludeerd dat:

- o het uitwisseldebiet mag niet groter worden dan 8.0 m³/s
- o de voorwaarde voor het overslaan van interne golven door het afbouwen van het uitwisseldebiet kan vervallen als het eindniveau voor het uitwisselen wordt gelegd op N.A.P. -3.50 m. Deze geringe verlaging van het eindniveau is in feite ook gewenst vanuit de onnauwkeurigheid van het bepalen van het maximum uitwisseldebiet (zie paragraaf 3.2).

In situaties met een dichtheidsverschil anders dan 20 kg/m³ blijft het optimum punt van de drie voorwaarden ongeveer bij hetzelfde scheidingsvlakniveau liggen, alleen het maximale uitwisseldebiet wijzigt (zie figuur 3.1.1). Een andere kolkwaterstand heeft slechts een geringe invloed op het optimale punt van figuur 3.1.1. Er kan worden uitgegaan van een konstant eindniveau van het scheidingsvlak. Alleen bij veranderingen van het dichtheidsverschil dient het maximum uitwisseldebiet te worden aangepast. De relatie tussen maximum toelaatbaar uitwisseldebiet en het dichtheidsverschil is (uit vgl 3.1):

$$Q_{uitw}^{\epsilon} = \sqrt{\frac{\epsilon}{0,02}} \cdot Q_{uitw}$$

3.4

waarin: Q_{uitw}^{ϵ} = maximum uitwisseldebiet bij dichtheidsverschil ϵ [m³/s]

Deze relatie is in feite allen geldig als het dichtheidsverschil in de orde van 12 a 20 kg/m³ ligt; bij lagere dichtheidsverschillen kan wat meer zoutwaterverlies worden geaccepteerd, omdat de zoutlast dan minder is.

Er rest nu nog een criterium, namelijk het beperken van het zoutwaterverlies naar het Zoommeer. Hierbij is gesteld dat het volume zoutwater dat naar het Zoommeer afstroomt bij de jachtensluizen een orde kleiner moet zijn dan bij de duwvaartsluizen. Uitgaande van een zoutverlies van de duwvaartsluizen van orde 2% volgt voor de jachtensluizen:

$$\bar{F}_k^{duw} \cdot h_{uitw}^{duw} \cdot 0,02/10 = \bar{F}_k^{js} \cdot h_{uitw}^{js} \cdot a/100$$

\bar{F}_k^{js} = jachtensluizen

\bar{F}_k^{duw} = duwvaartsluizen

a = percentage zoutverlies [%]

h_{uitw} = hoogte uitwisselschijf [m]

3.5

In normale situaties wordt het zoutwaterverlies van de duwvaartsluizen voornamelijk veroorzaakt door het afstromen van het brakke water boven de geperforeerde vloer. Het zoutwaterverlies van de jachtensluizen is dan ook afgeschat uitgaande van de aanname dat het brakke water boven de drempel aan de Zoommeerzijde afstroomt. Voor het bepalen van dit zoutwaterverlies is gebruik gemaakt van modelresultaten van het onderzoek M 1529-III. Uit deze modelresultaten blijkt dat de hoeveelheid brak water boven de vloer (drempel) afhankelijk is van het debiet. Er is dan ook een relatie gelegd tussen zoutwaterverlies en het uitwisseldebiet

De hoeveelheid brak water boven de vloer, in feite de dikte van de menglaag, is afhankelijk van het Froude-intern-getal bij het begin van het neerwaarts uitwisselen. Dit Froude-intern-getal is gerelateerd aan de snelheid van het zoete water boven de afdichtende regelschuiven. Zodat voor het vertalen van de situatie van de duwvaartsluizen naar de jachtensluizen kan worden aangenomen dat als de kolkwandriooldebieten hetzelfde zijn, ook de dichtheidsvertikalen (geen schepen in de kolk) hetzelfde zijn. Uit deze aanname volgt:

Uitgaande van: $Q_{kw}^{js} = Q_{kw}^{duw}$

volgt
$$: v_{js} = \frac{15 \cdot Q_{kw}^{duw}}{\bar{F}_k^{js}} \quad \text{met} \quad Q_{kw}^{duw} = \frac{\bar{F}_k^{duw} \cdot v_{duw}}{114}$$

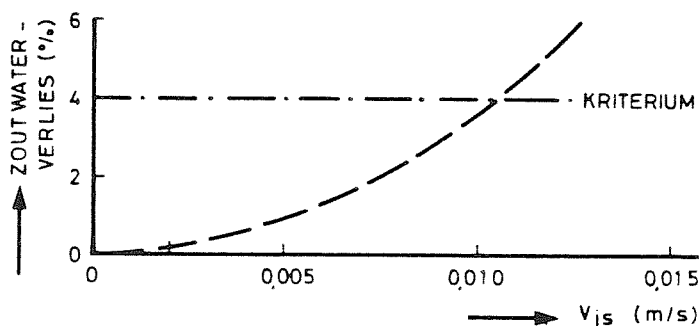
zodat
$$: v_{js} = \frac{15 \cdot \bar{F}_k^{duw}}{114 \cdot \bar{F}_k^{js}} \cdot v_{duw} \approx 1,3 \cdot v_{duw}$$

3.6

v = scheidingsvlaksnelheid [m/s]

Bij de jachtensluizen zijn de scheidingsvlaksnelheden in vergelijkbare situaties dus 1.3 maal groter.

Het zoutwaterverlies kan worden afgeleid door het gedeelte van de dichtheidsvertikaal boven de drempel te integreren over de hoogte en de hoeveelheid brak water terug te rekenen naar een hoeveelheid zout water. In de onderstaande figuur is het zoutwaterverlies uitgezet als functie van de scheidingsvlaksnelheid. Bij het opzetten van deze figuur 3.2.2 is gebruik gemaakt van dichtheidsvertikalen welke zijn gemeten bij het onderzoek M1529-III (zie figuur 3).



Figuur 3.2.2 Zoutwaterverlies als functie van de scheidingsvlaksnelheid

Uit bovenstaande figuur volgt dat als de scheidingsvlaksnelheid groter wordt dan 0.01 m/s het zoutwaterverlies naar het Zoommeer groter wordt dan 4%. Uit oogpunt van zout/zoet scheiding is het dan ook aan te bevelen om het uitwisseldebiet bij het begin van het neerwaarts uitwisselen niet groter te laten worden dan 8.0 m³/s. Gezien het feit dat het uitwisseldebiet bij het einde van het neerwaarts uitwisselen ook niet veel groter mag worden dan 8.0 m³/s, lijkt het aan te bevelen om te stellen dat:

$$Q_{uitw} \leq 8,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.7

Dit is in het vervolg van deze notitie meegenomen.

bepalen einde neerwaarts uitwisselen

Het einde van het neerwaarts uitwisselen wordt bepaald aan de hand van de uit te wisselen hoeveelheid water. Dit uitwissel volume is gelijk aan:

$$V_{\text{uitw}} = p_n \int_{p_n}^{h_k} F_k(h) \cdot dh$$

waarin: V_{uitw} = uitwisselvolume [m³]
 $F_k(h)$ = kolkoppervlak als functie van de 3.8
waterstand [m²]
 h_k = waterstand kolk (beginniveau) [m t.o.v. NAP]
 p_n = eindniveau neerwaarts uitwisselen [m t.o.v. NAP]

Dit uit te wisselen volume worden benaderd met:

$$V_{\text{uitw}} = \sum_{i=1}^n F_k^i \cdot \Delta h_i$$

Δh_i = niveauverschil waarover kolkoppervlak
ongeveer konstant is [m]
3.8a

In deze notitie aangenomen dat het kolkoppervlak niet varieert in verticale richting; vergelijking 3.8a kan dan worden vereenvoudigd tot:

$$V_{\text{uitw}} = \bar{F}_k \cdot (h_k - p_n)$$
3.9

Dit volume dient gelijk te zijn aan het volume zout water dat uit de kolk stroomt. Dit volgt uit:

$$V_{\text{uit}} = \int_{t=0}^{t=t_{\text{uitw}}} Q(t) dt$$

$Q(t)$ = uitwisseldebiet als functie van de tijd [m³/s] 3.10
 t = tijd [s]
 t_{uitw} = uitwisseltijd [s]

Dit volume zout water, dat uit de kolk stroomt kan worden benaderd met:

$$V_{\text{uitw}} = Q_{\text{max}} \cdot (t_{\text{uitw}} - \Delta t)$$

waarin: Δt = opstarttijd debiet [s] 3.11
 $\Delta t = t$ bij openen
 $\Delta t = t_s^0$ bij vrij verval

Het gelijk stellen van deze volumina levert de uitwisseltijd en dus ook het tijdstip waarop het uitwisseldebiet moet worden afgebouwd.

De fout in de uitwisseltijd is afhankelijk van:

- o fout in het uitwisseldebiet
- o fout in het kolkoppervlak
- o fout in de waterstand in de kolk welke het uit te wisselen volume bepaalt

De fout in het kolkoppervlak en de waterstand is orde 2 a 3%, terwijl de fout in het uitwisseldebiet varieert tussen 3% en 10%. In de vrij verval situatie en bij situaties waarin gepompt wordt met vervallen in de buurt van het werkpunt van de pomp zijn de fouten in het debiet gering, dat wil zeggen orde 3%. Bij pompsituaties met kleine vervallen (kleiner dan 0.30 m.) wordt de fout in het pompdebiet vrij groot, dat wil zeggen orde 10%. Daar niet bekend is op welke wijze de fouten in het debiet verdeeld zijn (symmetrisch, a-symmetrisch) lijkt het verstandig om uit te gaan van een verlaging van het eindniveau van het neerwaarts uitwisselen. Uitgaande van een uit te wisselen zoutwaterschijf van ongeveer drie meter betekent dit een extra niveauverlaging van de eindpositie van het scheidingsvlak van 0.10 a 0.30 m.

In het voorgaande is in eerste instantie uitgegaan van een eindniveau van het neerwaarts uitwisselen van N.A.P. -3.20 m. Gezien de fouten in het debiet c.q. het volume moet dit niveau worden verlaagd tot N.A.P. -3.30 a -3.50 m. Dit is ook voorgesteld uitgaande van de criteria voor het einde van het neerwaarts uitwisselen. Het is dan ook aan te bevelen om het eindniveau voor het neerwaarts uitwisselen op N.A.P. -3.50 m te leggen.

3.2 BEGIN NEERWAARTS UITWISSELEN

Bij het begin van het neerwaarts uitwisselen moeten de volgende parameters worden bepaald:

- o vaststellen van de fase in het getij, dat wil zeggen is het een situatie met pompen of bij vrij verval
- o de beginpositie van de afdichtende regelschuiven
- o in het geval van pompen de starttijd van het uitwisselen
- o het maximum te realiseren uitwisseldebiet
- o de bijbehorende maximum schuifopening en de schuif-snelheid van de afdichtende regelschuiven
- o de bijbehorende maximum schuifopening en de schuif-snelheid van de doorlaatschuif

fase van het getij

Uitgaande van de waterstanden op het Zijpe en het Zoommeer kan worden afgeleid of het uitwisselen geschiedt met pompen of bij vrij verval.

Gezien het feit dat uitwisselen bij vrij verval bij zeer kleine vervallen veel schuttijd vergt is er een drempel (e₂) ingebouwd. Deze drempel is bepaald aan de hand van het criterium dat als

het debiet bij vrij verval kleiner is dan het pompdebiet er wordt uitgewisseld met behulp van de pomp. Uitgaande van de Q-H kromme van de pomp en de debiet- verval relatie bij vrij verval volgt dat deze drempel ongeveer 0.30 m is. Dit is weergegeven in onderstaande vergelijkingen:

$$\text{pompsituaties} \quad : h_{Zp} > h_{Zm} - e_2 \quad 3.12$$

$$\text{vrij verval situaties: } h_{Zp} < h_{Zm} - e_2 \quad 3.13$$

waarin: e_2 = drempel voor vrij verval situatie [m]

beginpositie afdichtende regelschuiven

De beginpositie van de afdichtende regelschuiven is in principe de Zoommeerwaterstand. Indien echter de Zoommeerwaterstand hoger is dan N.A.P. dan is de beginpositie N.A.P. Dit is aangegeven in de volgende vergelijkingen:

$$p_o = h_{Zm} \quad \text{als} \quad h_{Zm} < 0,00 \text{ m} \quad 3.14$$

$$p_o = 0,00 \quad \text{als} \quad h_{Zm} \geq 0,00 \text{ m} \quad 3.15$$

waarin: p_o = beginpositie afdichtende regelschuiven

starttijd uitwisselen

In het geval van pompen geldt dat er een bepaalde tijdsduur moet worden aangehouden tussen einde nivelleren en begin uitwisselen; dit in verband met het opslingeren van schacht- en debietslingeren, die veroorzaakt worden door het opstarten van de pomp. Deze tijdsduur is afgeleid in R1650-3 en is in de volgende vergelijking weergegeven:

$$\Delta t_{n-u} = 10 + n.T$$

waarin: Δt_{n-u} = tijdsduur tussen uitwisselen en nivelleren [s] 3.16

T = slingerperiode zoutwaterriool

n = 0, 1, 2

Voor het bepalen van de eigenlijke wachttijd tussen nivelleren en uitwisselen, is de tijdsduur van de beweging van de afdichtende regelschuiven naar de beginpositie van belang. Deze tijdsduur wordt bepaald met de volgende vergelijkingen:

$$t_{\text{bew}} = t_{\text{afdr}} + t_{\text{NAP}} + t_{\text{po}} = 4 + 8 + \frac{-P_o}{v_{\text{afd}}^{\text{max}}}$$

opgave Dir.Bruggen

$$\begin{aligned} t_{\text{bew}} &= \text{totale tijd voor bewegen naar beginpositie [s]} & 3.17 \\ t_{\text{afdr}} &= \text{tijdsduur afdrukken schuiven [s]} \\ t_{\text{NAP}} &= \text{tijdsduur bewegen naar NAP [s]} \\ t_{\text{po}} &= \text{tijdsduur bewegen van NAP naar begin-} \\ &\quad \text{positie (} h_{Zm} < 0,00 \text{ m) [s]} \\ v_{\text{afd}}^{\text{max}} &= \text{maximale schuifsnelheid (0,025) [m/s]} \end{aligned}$$

Uitgaande van de minimale waterstand op het Zoommeer (N.A.P. -1.25 m.) is de maximale tijdsduur van de beweging van de afdichtende regelschuiven ongeveer 62 seconden. De minimale tijdsduur van de beweging is 12 seconden. Dit betekent dus dat er twee mogelijkheden zijn voor de tijdsduur tussen nivelleren en uitwisselen, namelijk:

$$\Delta t_{\text{n-u}} = 42 \text{ s} \quad \text{als} \quad t_{\text{bew}} < 42 \text{ s} \quad 3.18$$

$$\Delta t_{\text{n-u}} = 74 \text{ s} \quad \text{als} \quad t_{\text{bew}} > 42 \text{ s} \quad 3.19$$

Bij de situaties met vrij verval is de tijdsduur tussen einde nivelleren en begin uitwisselen niet van belang.

maximum uitwisseldebiet

Het maximum uitwisseldebiet wordt bepaald uit het verval tussen Zoommeer en Zijpe. De wijze waarop dit debiet wordt bepaald verschilt voor pomp- en vrij verval situatie.

In de pompsituatie volgt het maximum uitwisseldebiet uit de Q-H kromme van de pomp. Er dient hierbij opgemerkt te worden dat de Q-H kromme niet overal even nauwkeurig is. In het werkpunt van de pomp ($Q=4.2 \text{ m}^3/\text{s}$) is de onnauwkeurigheid in het debiet ongeveer 3%, bij kleine vervallen (orde 0.30m) is de onnauwkeurigheid veel groter, orde 10 a 15%.

In de vrij verval situatie volgt het uitwisseldebiet uit de relatie:

$$h_{Zm} - h_{Zp} = \xi_r \cdot \frac{Q_{\text{max}} \cdot Q_{\text{max}}}{2 \cdot g \cdot A_r^2}$$

$$\begin{aligned} \text{waarin: } Q_{\text{max}} &= \text{maximum uitwisseldebiet} & [\text{m}^3/\text{s}] \\ A_r &= \text{riooloppervlak} & [\text{m}^2] \\ g &= \text{versnelling zwaartekracht} & [\text{m}/\text{s}^2] \\ \xi_r &= \text{totale weerstand riool} & [-] \end{aligned}$$

3.20

Hierbij moet worden voldaan aan de voorwaarde voor het uitwisseldebiet welke is afgeleid in de vorige paragraaf:

$$Q_{\text{uitw}} \leq 8,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.21

In bovenstaande vergelijking is de weerstand van het kolkwandriool verwaarloosd; dit is om dezelfde reden als in de pompsituatie. De weerstand van het riool dient in de prototype situatie bekend te zijn. Deze weerstand dient te worden bepaald uit prototype metingen en is een functie van de aangroei van het riool. In R1650-3 is de weerstand bepaald voor de niet aangegroeide situatie, deze weerstand is afgeschat op een waarde 13.2; in de aangegroeide situatie is deze weerstand ongeveer 14.9 (uit tabel I en appendix C van R 1650-3). De maximum fout in het debiet ten gevolge van aangroei is dan ongeveer 3% uitgaande van de gemiddelde waarde van de weerstand.

maximum schuifopening en snelheid afdichtende regelschuiven

Uitgaande van het criterium Froude-intern-getal is 1.00 kan met het maximum uitwisseldebiet de maximum opening van de afdichtende regelschuiven worden bepaald. Deze maximum opening kan worden bepaald met de volgende vergelijking:

Froude intern criterium:

$$Fr_i = \frac{Q_{\text{max}}}{n_{\text{kwr}} \cdot b_{\text{kwr}} \cdot d_{\text{kwr}} \cdot \sqrt{\epsilon \cdot g \cdot d_{\text{kwr}}}}$$

Als Froude-intern is één geldt:

$$d_{\text{max}} = \left(\frac{Q_{\text{max}}}{n_{\text{kwr}} \cdot b_{\text{kwr}} \cdot \sqrt{\epsilon \cdot g}} \right)^{2/3}$$

3.22

- waarin: d_{max} = maximale schuifopening [m]
 n_{kwr} = aantal kolkwandriolen = 15 [-]
 b_{kwr} = breedte kolkwandriolen bij
de schuiven = 3,5 [m]
 ϵ = relatief dichtheidsverschil
 $(\Delta\rho/\rho)$ [-]
 Fr_i = Froude-interngetal [-]

In de prototype situatie zal dus ook het dichtheidsverschil tussen zoet en zout water bekend moeten zijn. De fouten in het bepalen van het maximum uitwisseldebiet werken dus door in het Froude-intern getal. Het Froude-intern getal wijkt hierdoor af van 1.00. Deze afwijkingen (maximaal 0.1) zijn echter gering in

vergelijking met variaties in het Froude-intern getal tengevolge van schachtslingeringen (zie R 1650-3).

In het onderzoek R 1650-3 zijn de afdichtende regelschuiven met een konstante snelheid opengestuurd naar de maximum schuifopening. Deze sturingsmethode van de schuiven bleek voldoende nauwkeurig. Het bepalen van de schuifsnelheid verschilt voor vrij verval en pompsituaties, in feite verschilt het bepalen van de openingstijd van de schuiven.

In pompsituaties geldt:

$$\Delta t_{sch} = t_o$$

waarin: Δt_{sch} = openingstijd afdichtende regelschuiven [s]

t_o = opstarttijd pomp (≈ 25) [s]

3.23

In vrij vervalsituaties geldt (zie R1650-3 paragraaf 4.2):

$$\Delta t_{sch} = t_s / 1,5$$

waarin: t_s = openingstijd doorlaatschuif (≈ 42) [s]

De schuifsnelheid van de afdichtende regelschuiven volgt dan uit:

$$v_{sch} = d_{max} / \Delta t_{sch}$$

waarin: v_{sch} = schuifsnelheid afdichtende regelschuiven [m/s]

3.24

3.25

maximum schuifopening en schuifsnelheid doorlaatschuif

De doorlaatschuif kan bij het uitwisselen normaliter met de maximale snelheid (0.06 m/s) worden opengestuurd. Uit de resultaten van R1650-3 bleek dat bij vervallen groter dan ongeveer 1.60 m de maximum schuifsnelheid van de afdichtende regelschuiven wordt overschreden. De verdere uitwerking en de vergelijkingen zijn te vinden in R1650-3 paragraaf 4.2.

4.0 NIVELLEREN NAAR ZIJPEPEIL

Bij het nivelleren naar Zijpepeil dient er in tegenstelling tot het nivelleren naar Zoommeerpeil een duidelijk verschil te worden gemaakt tussen op- en neerwaarts nivelleren. Bij het neerwaarts nivelleren naar Zijpepeil treden er namelijk problemen op met aanzuigen van zoet water in het zoutwater-riool. De bel zoet water die dan in het riool wordt gevormd kan problemen geven in het verdere verloop van het schutproces. Dit wordt verder behandeld in paragraaf 4.2.

4.1 OPWAARTS NIVELLEREN

In het geval van opwaarts nivelleren naar Zijpepeil is de sturing van het nivelleerproces eenvoudig. Het nivelleren geschiedt in alle gevallen onder vrij verval en het debiet kan worden geregeld door de doorlaatschuif. In R1650-3 is aangegeven dat hierbij de doorlaatschuif met maximum snelheid kan worden geopend en dat de gemaalschuif op een vaste kleine opening (ongeveer 0.40 m) kan worden gezet. Het maximum debiet wordt dan niet groter dan 16 m³/s (ontwerpdebiet bestorting bij uitlaat) en er treden dan geen overschrijdingen op van schachtwaterstanden, schuifkrachten of krachten op schepen. In tegenstelling tot wat is geadviseerd in R1650-3 (appendix D), behoeft het einde van het nivelleren geen sturing vanuit de doorlaatschuif. Deze schuif kan geheel geopend blijven, bij het einde van het nivelleren wordt namelijk de draaideur naar het Zijpe geopend. Dit geschiedt als het drukverschil over deze deur kleiner wordt dan 0.10 m waterkolom. Indien bij het openen van de deur dezelfde langskrachtkriteria worden aangehouden als bij het nivelleren dan kan de draaideur worden geopend met de maximale snelheid. Dit is uitgewerkt in een WL-notitie (R1517-07).

4.2 NEERWAARTS NIVELLEREN

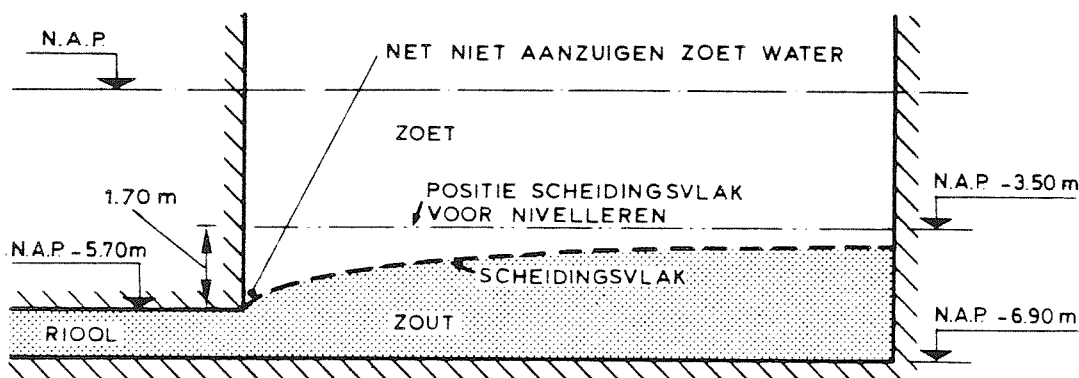
Zoals aan het begin van dit hoofdstuk al is gesteld ontstaan er bij het neerwaarts nivelleren naar Zijpepeil problemen doordat er zoet water in het zoutwater-riool komt. Dit zoete water wordt nadat de draaideur naar het Zijpe is geopend uit het riool gedreven door het zoute water dat door de draaideur in de kolk komt. Het zoete water zal door het zoute water omhoog komen, zodat er aan het wateroppervlak in de kolk zogenaamde "bloemkolen" ontstaan ten gevolge van het omhoog komende zoete water. Dit zal problemen geven bij het in- en uitvaren van de jachten, gezien het feit dat dwars- en langssnelheden bij jachten niet veel groter mogen zijn dan 0.3 a 0.5 m/s. Het is te verwachten dat de snelheden in de "bloemkolen" de ondergrens van bovengede-

noemd criterium zullen halen. Tevens wordt het wateroppervlak nogal ruw en zal het patroon van de stroming niet konstant zijn. Dit betekent dat het aanzuigen van zoet water naar het zoutriool zoveel mogelijk moet worden voorkomen.

Uitgaande van het gegeven dat het aanzuigen van zoet water naar het zoutwater-riool moet worden voorkomen kunnen er drie situaties worden onderscheiden bij het neerwaarts nivelleren:

1. het verval is gering er treedt geen aanzuigen van zoet water op
2. het verval is dusdanig groot dat het eindniveau van het zoet in de kolk boven het plafond van het zoutriool ligt, maar tijdens het nivelleren kan er wel zoet water naar het zoutwater-riool worden gezogen
3. het verval is zo groot dat het eindniveau van het zoet onder het plafond van het zoutwater-riool komt

Dit is nog eens schematisch weergegeven in de onderstaande figuur 4.2.1:



Figuur 4.2.1 Schematische langsdoorsnede kolk met aangegeven aanzuigen zoet water en de verval-gebieden

adl kleine vervallen

In het geval van kleine vervallen wordt het maximum nivelleerdebiet niet bereikt. De doorlaatschuif kan dan met maximale snelheid (0.06 m/s) worden geopend tot de maximale opening.

Bij het neerwaarts uitwisselen is het maximum debiet van 8.0 m³/s, dit debiet kan iets gereduceerd ook worden aangehouden bij het neerwaarts nivelleren. Deze reductie is nodig gezien het feit dat tijdens het nivelleren het scheidingsvlak zakt waardoor er ook bij het debiet van 8.0 m³/s al zoet water wordt aangezogen. Het maximum nivelleerdebiet in deze situatie kan worden afgeleid uitgaande van de aanname dat het debietverloop bij het openen van de doorlaatschuif lineair is. Het maximum nivelleerdebiet volgt uit:

$$\frac{|Q_{\text{niv}}^{\text{max}}| \cdot t_{\text{open}}}{2 \cdot \bar{F}_k} + \left(\frac{Q_{\text{niv}}^{\text{max}}}{b_r \cdot D \cdot 0,8} \right)^2 = h_{\text{start}}^{\text{niv}} - h_{\text{eind}}^{\text{max}}$$

waarin: $Q_{\text{niv}}^{\text{max}}$ = maximum nivelleerdebiet [m³/s]

4.1

$h_{\text{start}}^{\text{niv}}$ = positie scheidingsvlak begin nivelleren [m t.o.v. NAP]

$h_{\text{start}}^{\text{max}}$ = maximaal toegestane eindpositie bij
einde nivelleren [m t.o.v. NAP]

t_{open} = openingstijd doorlaatschuif [s]

Daar er wordt genivelleerd onder vrij verval kan ook het verval worden afgeleid waarbij het maximum nivelleerdebiet wordt gerealiseerd. Hierbij wordt het verlopen van de waterstand in de kolk meegenomen (lineaire toename debiet), maar wordt de traagheids-term verwaarloosd. Dit laatste is te verdedigen door het feit dat bij maximum debiet de dQ/dt nul is. Het verval volgt uit:

$$\Delta h_o = \frac{|Q_{\text{niv}}^{\text{max}}| \cdot t_{\text{open}}}{2 \cdot \bar{F}_k} + \xi_{\text{tot}} \cdot \frac{Q_{\text{niv}}^{\text{max}} \cdot Q_{\text{niv}}^{\text{max}}}{2 \cdot g \cdot A_r^2}$$

4.2

waarin: Δh_o = verval waarbij $Q_{\text{niv}}^{\text{max}}$ wordt bereikt [m]

ξ_{tot} = totale weerstand zoutwaterriool [-]

A_r = doorsnede zoutwaterriool [m²]

Het gebied van de kleine vervallen is bij het neerwaarts uitwisselen dus beperkt tot:

$$|\Delta h| \leq \Delta h_o$$

4.3

ad2 middelgrote vervallen

De ondergrens van het gebied met middelgrote vervallen is hierboven bepaald. De bovengrens volgt uit de aanname dat bij het einde van het nivelleren het scheidingsvlak niet onder de bovenkant van het zoutwater-riool mag dalen.

Uitgaande van de laagst mogelijke beginpositie van het scheidingsvlak (N.A.P. -3.80 m) volgt dat het verval kleiner moet zijn dan 1.40 m. Gezien het feit dat er interne golven optreden en er ook aan het einde van het nivelleren er sprake is van enig aanzuigen van zoet water is gesteld dat het verval kleiner moet zijn dan 1.25 m. De grenzen voor het gebied met middelgrote vervallen is dus:

$$\Delta h_o \leq |\Delta h| \leq 1,25$$

4.4

In het geval van de middelgrote vervallen kan worden genivelleerd met een gereduceerd debiet. Deze reductie wordt het eenvoudigst bereikt door de doorlaatschuif slechts gedeeltelijk te openen, maar wel met de maximum snelheid van de schuif. Het is mogelijk om daarna de doorlaatschuif verder te heffen. Dit is echter een vrij ingewikkelde procedure en is in deze notitie niet uitgewerkt, ook al omdat de winst in schuttijd niet erg groot is : gemiddeld 15 seconden over de range van vervallen.

De procedure verloopt in deze situatie als volgt:

- o het maximum nivelleerdebiet wordt vastgesteld met behulp van de bij ad.1 (kleine vervallen) gegeven vergelijking 4.1
- o uitgaande van dit maximumdebiet en het verval kan uit de de bewegingsvergelijking voor het rioolde totale rioolweerstand worden bepaald
- o uit de totale rioolweerstand is de schuifweerstand en de schuifstand van de doorlaatschuif af te leiden.

Het maximum nivelleerdebiet volgt uit:

$$\frac{|Q_{niv}^{max}| \cdot t_{open}}{2 \cdot F_k} + \left(\frac{Q_{niv}^{max}}{b_r \cdot D \cdot 0,8} \right)^2 = h_{start}^{niv} - h_{eind}^{max} \quad 4.5$$

De totale weerstand van het zoutwater-riool volgt uit:

$$\xi_{tot} = \left(|\Delta h| - \frac{|Q_{niv}^{max}| \cdot t_{open}}{2 \cdot F_k} \right) \cdot \frac{2 \cdot g \cdot A_r^2}{Q_{niv}^{max} \cdot Q_{niv}^{max}}$$

$$\xi_{tot} = \xi_r + \xi_s \quad 4.6$$

waarin: ξ = weerstandskoefficiënt [-]

r = riool

s = schuif

Met behulp van een logaritmische interpolatie kan de schuifstand van de doorlaatschuif worden bepaald; hierbij kan gebruik gemaakt worden van tabel 1, de schuifweerstand als functie van het openingspercentage.

De sturing van het nivelleren is vrij eenvoudig: de doorlaatschuif wordt met maximale snelheid geheven tot de maximum opening, welke bepaald kan worden uit de hierboven gegeven vergelijkingen. Aan het einde van het nivelleren wordt de draaideur geopend op het criterium voor het drukverschil over de draaideur (0.10 m waterkolom).

Opgemerkt dient te worden dat in het geval van aangegroeide zoutwater-riolen de ondergrens van het gebied met middelgrote vervallen verschuift. Bij geheel aangegroeide riolen vervalt zelfs het gebied met middelgrote vervallen, omdat de ondergrens de bovengrens overschrijdt.

ad3 grote vervallen

In het geval van grote vervallen, dat wil zeggen vervallen groter dan 1.25 m, is het zonder een bepaalde ingreep niet mogelijk om te nivelleren zonder dat er zoet water in het zoutwater-riool komt. Er wordt dan ook voorgesteld om in deze situatie het scheidingsvlak omhoog te brengen en wel over een hoogte van:

$$h_{op} = |\Delta h| - 1,25$$

h_{op} = hoogte waarover scheidingsvlak omhoog

4.7

moet worden gebracht [m]

Het scheidingsvlak kan omhoog gebracht worden door bij geopende wandschuiven zout water in de kolk te pompen. De tijd waarin gepompt dient te worden, kan worden bepaald met:

$$Q_{pomp} = F(\Delta h) \quad \text{zie figuur 1}$$

$$h_o \cdot \bar{F}_k = Q_{pomp} \cdot t_{op} + Q_{pomp} (t_{pomp} - 2 \cdot t_o)$$

4.8

t_{pomp} = totale tijd voor omhoog brengen scheidingsvlak [s]

In het meest extreme geval zal het scheidingsvlak 1.85 m omhoog moeten worden gebracht. Dit betekent een eindniveau van het scheidingsvlak op N.A.P. -1.65 m. Er kan dan nog geen zout water afstromen over de naar het omarmend zoet; dit gebeurt pas bij N.A.P. -1.50. Bij het omhoog brengen van het scheidingsvlak zal bij de grotere vervallen (orde 2.0 m) wel een groot indirect zoutverlies optreden door het feit dat er zout water naar de kolkwandriolen wordt opgezogen. Daar deze grote vervallen slechts enkele malen per jaar voorkomen zal dit acceptabel zijn.

Uitgaande van het bereikte beginniveau van het scheidingsvlak kan het maximum nivelleerdebiet in deze situatie met dezelfde vergelijkingen worden bepaald als bij de middelgrote vervallen. Ook de weerstand en maximum stand van de doorlaatschuif zijn met dezelfde vergelijkingen te bepalen.

De sturing in deze situatie verloopt dus als volgt:

- o het scheidingsvlak wordt eerst omhooggebracht door middel van pompen en bij geopende afdichtende regelschuiven
- o de afdichtende regelschuiven en de doorlaatschuif worden gesloten tijdens een nulstandsregeling
- o er wordt neerwaarts genivelleerd onder vrij verval, waarbij de doorlaatschuif met maximum snelheid naar een gereduceerde opening wordt gestuurd.
- o het einde van het nivelleren geschiedt op dezelfde wijze als bij het opwaarts nivelleren. Bij een drukverschil over de draaideur van 0.10 m. waterkolom wordt de draaideur geopend.

5.0 SAMENVATTING

De resultaten van de analyse van het schutproces uit de vorige paragrafen is samengevat in figuur 4 t/m 6. In deze figuren is een schema gegeven van de sturing van het schutproces. In dit schema zijn bij de verschillende bewerkingen de nummers van de te gebruiken vergelijkingen aangegeven. Aan de hand van dit schema en de vergelijkingen kan de sturing van de jachtensluizen verder worden uitgewerkt. Hierbij dient dan vooral nog aandacht te worden besteed aan:

- o er is nog geen uitgebreide foutenbeschouwing en een storingsanalyse uitgevoerd. In R1650-0, I, II en III zijn hiervoor al wel aanzetten gegeven.
- o er is in deze notitie hoofdzakelijk uitgegaan van de situatie met een niet-aangegroeid riool. In hoeverre zaken gaan veranderen in de aangegroeide situatie is slechts summier nagegaan. De verwachting is echter dat dit geen grote gevolgen zal hebben, omdat alleen een extra demping ontstaat. Er zal wat schuttijd verlies optreden met name in de pompsituaties (zie figuur 1). In de situatie met nivelleren of uitwisselen onder vrij verval kan in de aangegroeide situatie de stand van de gemaalschuif worden aangepast (schuif omhoog: minder weerstand).
- o er dient nog een definitieve beslissing te worden genomen over de opstarttijd van het debiet en de tijdsconstante τ van de waterstandsmeter; belangrijke randvoorwaarden voor deze beslissing zijn een mogelijk minimum pompdebiet en de nog acceptabel geachte langskrachten op de schepen

Tabel I Weerstandskoefficienten hoofdschuiten gemaal en doorlaatwerk.

d/D	ξ_S^* vullen	ξ_S^* ledigen
-0,05	2000	4000
0,00	600	1050
0,05	215	420
0,10	83	132
0,15	43	53
0,20	24	30
0,30	11	12
0,40	4,75	6
0,50	2,75	3
0,60	1,50	1,15
0,70	0,90	0,71
0,80	0,45	0,26
0,90	0,19	0,04
1,00	0,00	0,00

Schuifweerstandskoefficient uit R1422 [4]

* Weerstandskoefficienten betrokken op een doorstroomoppervlak van $7,5 \text{ m}^2$.

APPENDIX A

Rekenprogramma waterstandsverschil waterstandsvolger/kolk

De waterstandsvolger, welke nu voorzien is in de jachtensluizen, heeft een lineaire demping waardoor de aktuele waterstand niet direkt gevolgd wordt. Met behulp van het in deze appendix beschreven rekenprogramma, kan worden nagegaan wat de invloed is van de demping op de door de waterstandsvolger gemeten waterstandswaarden.

Het waterstandsverloop dat met name moet worden gevolgd is het nivelleren naar Zoommeerpeil. Bij dit nivelleren wordt in alle situaties gebruik gemaakt van de pomp. Bij het nivelleren van de pomp vertoont het debiet naar de kolk slingeren, ten gevolge van de in het riool aanwezige schachten (zie R1650-3 appendix A). Hierdoor vertoont ook het aktuele waterstandsverloop in de kolk slingeren. Het debietverloop kan worden beschreven met de vergelijkingen welke gegeven zijn in R1650-3 (Appendix A):

$$t < t_0 : Q = \sum_{i=1}^k \frac{Q_{\text{pomp}}}{n} - \sum_{i=1}^k \frac{Q_{\text{pomp}}}{n} \cdot \cos(\omega \cdot (t - \frac{i \cdot t_0}{n}))$$

$$\text{waarin: } k = \frac{t}{t_0} \cdot n$$

$$t > t_0 : Q = Q_{\text{pomp}} - \sum_{i=1}^n \frac{Q_{\text{pomp}}}{n} \cdot \cos(\omega \cdot (t - \frac{i \cdot t_0}{n}))$$

met: Q	= debiet naar kolk	[m ³ /s]
Q pomp	= maximum pompdebiet	[m ³ /s]
t ₀	= opstarttijd pompdebiet	[s]
ω	= frequentie slingering = $\frac{2\pi}{T}$	[1/s]
n	= aantal stappen in opstarttijd	[-]
t	= tijd	[s]

De aktuele waterstand in de kolk op het tijdstip t kan worden bepaald met:

$$h_{\text{kolk}}(t) = h_{\text{kolk}}(t - \Delta t) + \frac{(Q(t - \Delta t) + Q(t)) \cdot \Delta t}{2 \cdot F_k}$$

waarin: h _{kolk}	= kolkwaterstand	[m]
Δt	= tijdstap = t_0/n	[s]
F _k	= kolkoppervlak	[m ²]

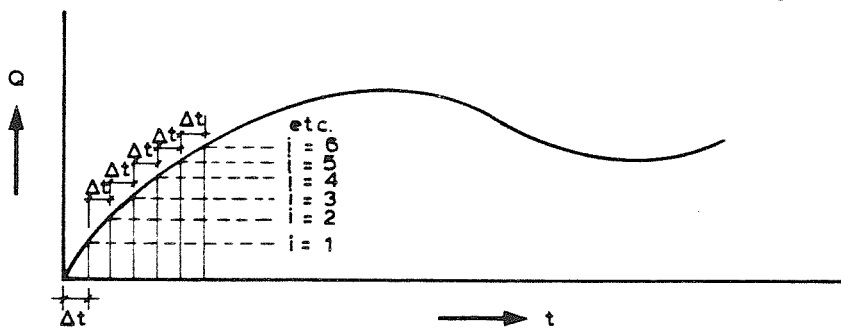
Uitgaande van het aktuele waterstandsverloop kan het waterstandsverloop van de waterstandsvolger worden bepaald. Het systeem van de waterstandsvolger voldoet volgens een opgave van Directie Bruggen aan:

$$\Delta s(t) = \frac{dQ/dt}{F_k} \cdot \tau \cdot t_0 + \frac{dQ/dt}{F_k} \cdot (\tau)^2 \cdot (1 - e^{-t_0/\tau}) \cdot e^{-t/\tau}$$

waarin: Δs = waterstandsverschil aktuele en gemeten waterstand [m]

τ = dempingsfaktor waterstandsvolger [s]

Hierbij is uitgegaan van een debiet wat lineair wordt opgestart naar de maximum waarde, dit is in feite het gewenste debietverloop van de pomp. Daar echter het debietverloop slingeren vertoont, dient voor het bepalen van het waterstandsverschil tussen aktuele en gemeten waterstand, eenzelfde benadering te worden gekozen als bij het bepalen van het debiet in het riool. Het verloop van het riooldebiet wordt opgedeeld in stukjes met een gelijke opstarttijd, waarbij iedere keer een lineaire opstart van het debiet wordt verondersteld. Dit is aangegeven in de onderstaande figuur.



Figuur A1 Voorbeeld opdelen debietverloop

Het waterstandsverschil tussen de aktuele kolkwaterstand en de gemeten kolkwaterstand volgt dan uit:

$$\Delta s(t) = \sum_{i=1}^k \frac{\Delta Q}{\Delta t} (i) / F_k \cdot \tau \cdot \Delta t + \frac{\Delta Q}{\Delta t} (i) / F_k \cdot (\tau)^2 \cdot (1 - e^{-\Delta t/\tau}) \cdot e^{(i \cdot \Delta t - t)/\tau}$$

waarin: $k = t/\Delta t$ met $\Delta t = t_0/n$

$\Delta Q/\Delta t(i)$ = verandering van debiet per tijdseenheid bij de i-de tijdstap in debietverloop.

Uitgaande van de hierboven gegeven vergelijkingen is een rekenprogramma opgesteld dat uitgaande van het gewenste pompdebiet een debiet in het riool, de aktuele waterstand in de kolk, het waterstandsverschil tussen aktuele waterstand en gemeten waterstand en de gemeten waterstand bepaald. De gemeten waterstand is bepaald met:

$$h_{\text{gem}}(t) = h_{\text{kolk}}(t) - \Delta s(t)$$

waarin: $h_{\text{gem}}(t)$ = door waterstandsvolger "gemeten" waterstand [m]

De listing van het programma en een voorbeeld van de in- en uitvoer is hiernavolgend gegeven.

listing rekenprogramma

```
1      PROGRAMMA TAU
2      C      DIMENSION ST(500),TS(500)
3      C      READ (5,10) T0,T1,QPOMP,TAU,TSL,FK,TEIND,MN
4      10  FORMAT (7F10.0,I3)
5      M=1
6      WRITE (6,15) MN,M
7      15  FORMAT('1',10X,'INVOER PROGRAMMA TAU',5X,'BEREKENING',
8      *      I4,5X,'PAGINA',I2,////)
9      WRITE (6,20) T0,T1,QPOMP,TAU,TSL,FK
10     20  FORMAT('0',///,4X,'OPSTARTTIJD DEBIET   =',F7.2,/,
11     *      4X,'TIJDSTAP REKENPROCES   =',F7.2,/,
12     *      4X,'MAXIMUM POMPDEBIET     =',F7.2,/,
13     *      4X,'TIJDSKONSTANTE TAU     =',F7.2,/,
14     *      4X,'SLINGERTIJD RIOOL      =',F7.2,/,
15     *      4X,'KOLKOPPERVLAK         =',F7.2,///)
16     C
17     WRITE (6,30) MN,M
18     30  FORMAT('1',10X,'UITVOER PROGRAMMA TAU',5X,'BEREKENING',
19     *      I4,5X,'PAGINA',I2,////,
20     *      9X,'T',6X,'QPOMP',5X,'QRIOOL',4X,'HVERW',5X,'HKOLK',
21     *      6X,'DH',6X,'HWTSTM',/)
22     T=0.0
23     SS=0.0
24     FI=3.1415
25     N=T0/T1
26     QOUD=0.0
27     TAUTAU=TAU*TAU*(1.0-EXP(T1/TAU))
28     C
29     100 CONTINUE
30     T=T+T1
31     IF (T .GT. TEIND) GOTO 300
32     IF (T/50-.00001 .GT. M) THEN
33       M=M+1
34       WRITE (6,30) MN,M
35     ENDIF
36     IF (T .LE. T0) THEN
37       S=.5*T*T*QPOMP/T0/FK
38     ELSE
39       S=(.5*T0*QPOMP+(T-T0)*QPOMP)/FK
40     ENDIF
41     K=N*T/T0
42     IF (T .GT. T0) K=N
43     K1=T/T1
44     QP=K*QPOMP/N
45     QNIEUW=0.0
46     DO 150 I=1,K
47     QNIEUW=QNIEUW+QPOMP/N-QPOMP/N*COS(2*PI/TSL*(T-I*T0/N))
48   150 CONTINUE
49     SS=SS+(QOUD+QNIEUW)*T1/(2*FK)
50     ST(K1)=(QNIEUW-QOUD)/(T1*FK)
51     TS(K1)=T-T1
52     DS=0.0
53     DO 200 I=1,K1
54     DS=DS+ST(I)*TAU*T1+ST(I)*TAUTAU*EXP(-(T-TS(I))/TAU)
55   200 CONTINUE
56     IF (T-.001 .GT. IFIX(T)) GOTO 270
57     WRITE (6,250) T,QP,QNIEUW,S,SS,DS,SS-DS
58   250 FORMAT (6X,F5.1,2F10.2,4F10.3)
59   270 CONTINUE
60     QOUD=QNIEUW
61     GOTO 100
62     C
63   300 CONTINUE
64     END
```

voorbeeld in/uitvoer rekenprogramma

INVOER PROGRAMMA TAU BEREKENING 1 PAGINA 1

OPSTARTTIJD DERIET = 20.00
 TIJDSTAP REKENPROCES = 1.00
 MAXIMUM POMPERIET = 5.50
 TIJDSKONSTANTE TAU = 10.00
 SLINGERTIJD RIJOL = 32.00
 KOLKOPPERVLAK = 750.00

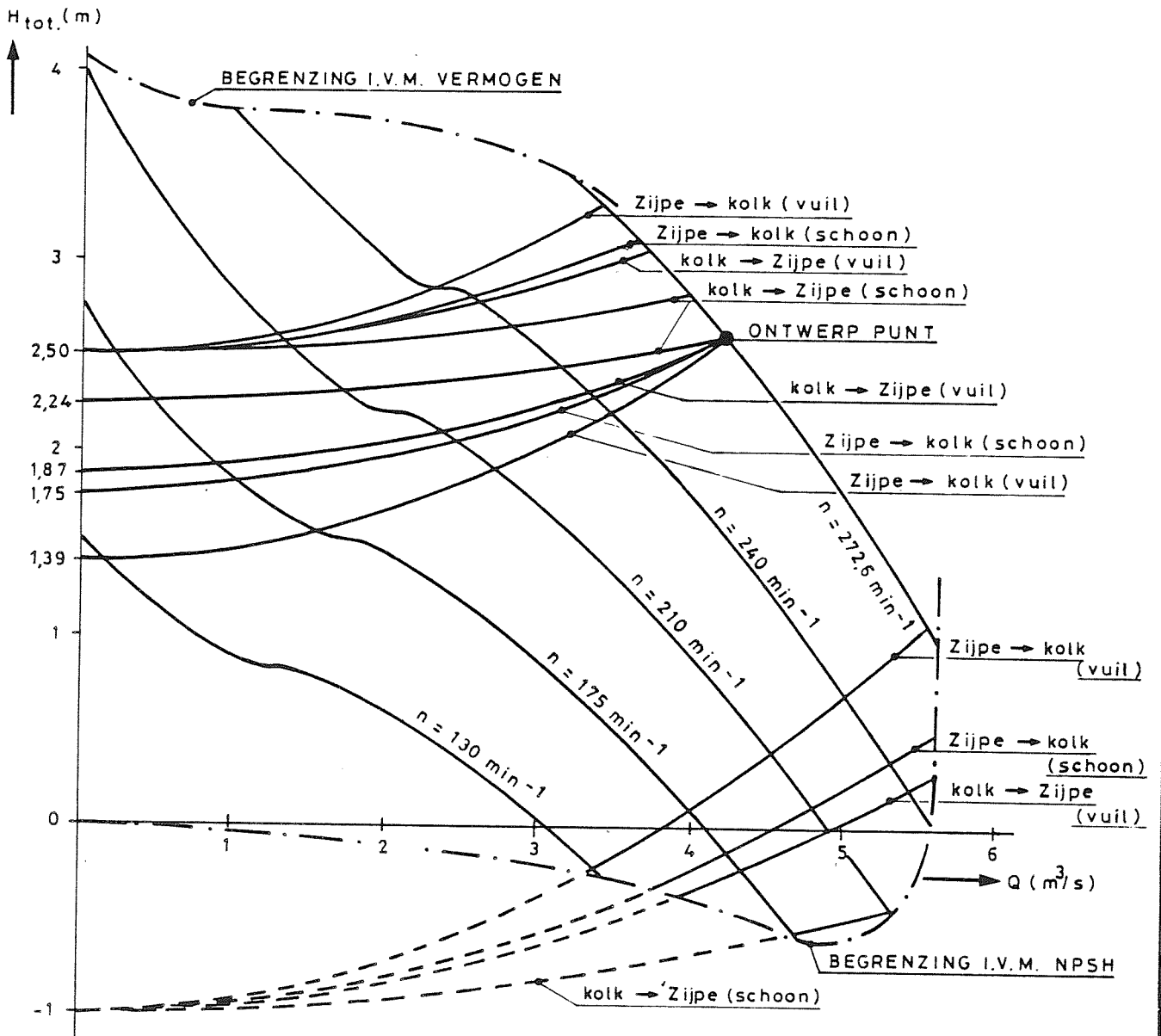
UITVOER PROGRAMMA TAU BEREKENING 1 PAGINA 1

T	QPOMP	QRIJOL	HVERW	HKOLK	DH	HWIETM
1.0	0.27	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
2.0	0.55	0.01	0.001	0.000	0.000	0.000
3.0	0.82	0.03	0.002	0.000	0.000	0.000
4.0	1.10	0.07	0.003	0.000	0.000	0.000
5.0	1.38	0.15	0.005	0.000	0.000	0.000
6.0	1.65	0.28	0.007	0.001	0.000	0.000
7.0	1.92	0.45	0.009	0.001	0.001	0.000
8.0	2.20	0.67	0.012	0.002	0.002	0.000
9.0	2.47	0.94	0.015	0.003	0.002	0.000
10.0	2.75	1.27	0.018	0.004	0.004	0.001
11.0	3.02	1.65	0.022	0.006	0.005	0.001
12.0	3.30	2.08	0.026	0.009	0.007	0.002
13.0	3.57	2.55	0.031	0.012	0.009	0.003
14.0	3.85	3.05	0.036	0.016	0.012	0.004
15.0	4.13	3.58	0.041	0.020	0.015	0.005
16.0	4.40	4.12	0.047	0.025	0.018	0.007
17.0	4.67	4.67	0.053	0.031	0.022	0.009
18.0	4.95	5.22	0.059	0.038	0.026	0.011
19.0	5.22	5.75	0.066	0.045	0.031	0.014
20.0	5.50	6.25	0.073	0.053	0.036	0.017
21.0	5.50	6.72	0.081	0.062	0.040	0.021
22.0	5.50	7.14	0.088	0.071	0.045	0.025
23.0	5.50	7.56	0.095	0.081	0.050	0.030
24.0	5.50	7.79	0.103	0.091	0.055	0.035
25.0	5.50	7.98	0.110	0.101	0.060	0.041
26.0	5.50	8.08	0.117	0.112	0.064	0.047
27.0	5.50	8.08	0.125	0.123	0.069	0.054
28.0	5.50	7.98	0.132	0.133	0.072	0.061
29.0	5.50	7.79	0.139	0.144	0.075	0.069
30.0	5.50	7.56	0.147	0.154	0.078	0.076
31.0	5.50	7.14	0.154	0.164	0.080	0.084
32.0	5.50	6.72	0.161	0.173	0.081	0.092
33.0	5.50	6.25	0.169	0.182	0.082	0.100
34.0	5.50	5.75	0.176	0.190	0.081	0.108
35.0	5.50	5.25	0.183	0.197	0.081	0.117
36.0	5.50	4.75	0.191	0.204	0.079	0.125
37.0	5.50	4.28	0.198	0.210	0.077	0.132
38.0	5.50	3.86	0.205	0.215	0.075	0.140
39.0	5.50	3.50	0.213	0.220	0.073	0.147
40.0	5.50	3.21	0.220	0.225	0.070	0.155
41.0	5.50	3.02	0.227	0.229	0.067	0.161
42.0	5.50	2.92	0.235	0.233	0.065	0.168
43.0	5.50	2.92	0.242	0.237	0.062	0.174
44.0	5.50	3.02	0.249	0.241	0.060	0.180
45.0	5.50	3.21	0.257	0.245	0.058	0.186
46.0	5.50	3.50	0.264	0.249	0.057	0.192
47.0	5.50	3.86	0.271	0.254	0.056	0.198
48.0	5.50	4.28	0.279	0.260	0.056	0.203
49.0	5.50	4.75	0.286	0.266	0.056	0.209
50.0	5.50	5.25	0.293	0.272	0.057	0.215

voorbeeld in/uitvoer rekenprogramma (vervolg)

UITVOER PROGRAMMA TAU						
T	QPOMP	QRIOOL	HVERW	HKOLK	DH	HWTSTM
51.0	5.50	5.75	0.301	0.280	0.059	0.221
52.0	5.50	6.25	0.308	0.288	0.061	0.227
53.0	5.50	6.72	0.315	0.296	0.063	0.233
54.0	5.50	7.14	0.323	0.305	0.066	0.239
55.0	5.50	7.50	0.330	0.315	0.069	0.246
56.0	5.50	7.79	0.337	0.325	0.072	0.253
57.0	5.50	7.98	0.345	0.336	0.075	0.260
58.0	5.50	8.08	0.352	0.347	0.078	0.268
59.0	5.50	8.08	0.359	0.357	0.081	0.276
60.0	5.50	7.98	0.367	0.368	0.084	0.284
61.0	5.50	7.79	0.374	0.379	0.086	0.293
62.0	5.50	7.50	0.381	0.389	0.087	0.302
63.0	5.50	7.15	0.389	0.399	0.088	0.310
64.0	5.50	6.72	0.396	0.408	0.089	0.319
65.0	5.50	6.25	0.403	0.416	0.088	0.328
66.0	5.50	5.75	0.411	0.424	0.088	0.337
67.0	5.50	5.25	0.418	0.432	0.086	0.346
68.0	5.50	4.75	0.425	0.438	0.084	0.354
69.0	5.50	4.28	0.433	0.444	0.082	0.362
70.0	5.50	3.86	0.440	0.450	0.079	0.370
71.0	5.50	3.50	0.447	0.455	0.077	0.378
72.0	5.50	3.21	0.455	0.459	0.073	0.386
73.0	5.50	3.02	0.462	0.463	0.070	0.393
74.0	5.50	2.92	0.469	0.467	0.068	0.400
75.0	5.50	2.92	0.477	0.471	0.065	0.406
76.0	5.50	3.02	0.484	0.475	0.062	0.413
77.0	5.50	3.21	0.491	0.479	0.060	0.419
78.0	5.50	3.50	0.499	0.484	0.059	0.425
79.0	5.50	3.85	0.506	0.489	0.058	0.431
80.0	5.50	4.28	0.513	0.494	0.058	0.437
81.0	5.50	4.75	0.521	0.500	0.058	0.442
82.0	5.50	5.24	0.528	0.507	0.059	0.448
83.0	5.50	5.75	0.535	0.514	0.060	0.454
84.0	5.50	6.25	0.543	0.522	0.062	0.460
85.0	5.50	6.72	0.550	0.531	0.064	0.467
86.0	5.50	7.14	0.557	0.540	0.067	0.473
87.0	5.50	7.50	0.565	0.550	0.070	0.480
88.0	5.50	7.79	0.572	0.560	0.073	0.487
89.0	5.50	7.98	0.579	0.571	0.076	0.495
90.0	5.50	8.08	0.587	0.581	0.079	0.502
91.0	5.50	8.08	0.594	0.592	0.082	0.510
92.0	5.50	7.98	0.601	0.603	0.084	0.519
93.0	5.50	7.79	0.609	0.613	0.086	0.527
94.0	5.50	7.50	0.616	0.623	0.088	0.536
95.0	5.50	7.15	0.623	0.633	0.089	0.545
96.0	5.50	6.72	0.631	0.642	0.089	0.554
97.0	5.50	6.25	0.638	0.651	0.089	0.562
98.0	5.50	5.75	0.645	0.659	0.088	0.571
99.0	5.50	5.25	0.653	0.666	0.086	0.580
100.0	5.50	4.75	0.660	0.673	0.085	0.589

met: T = tijd (s)
 QPOMP = gewenst pompdebiet (m³/s)
 QRIOOL = gerealiseerd pompdebiet (m³/s)
 HVERW = gewenste kolkwaterstand (m)
 HKOLK = gerealiseerde kolkwaterstand (m)
 DH = verschil gerealiseerde
 en gemeten kolkwaterstand (m)
 HWTSTM = gemeten kolkwaterstand (m)



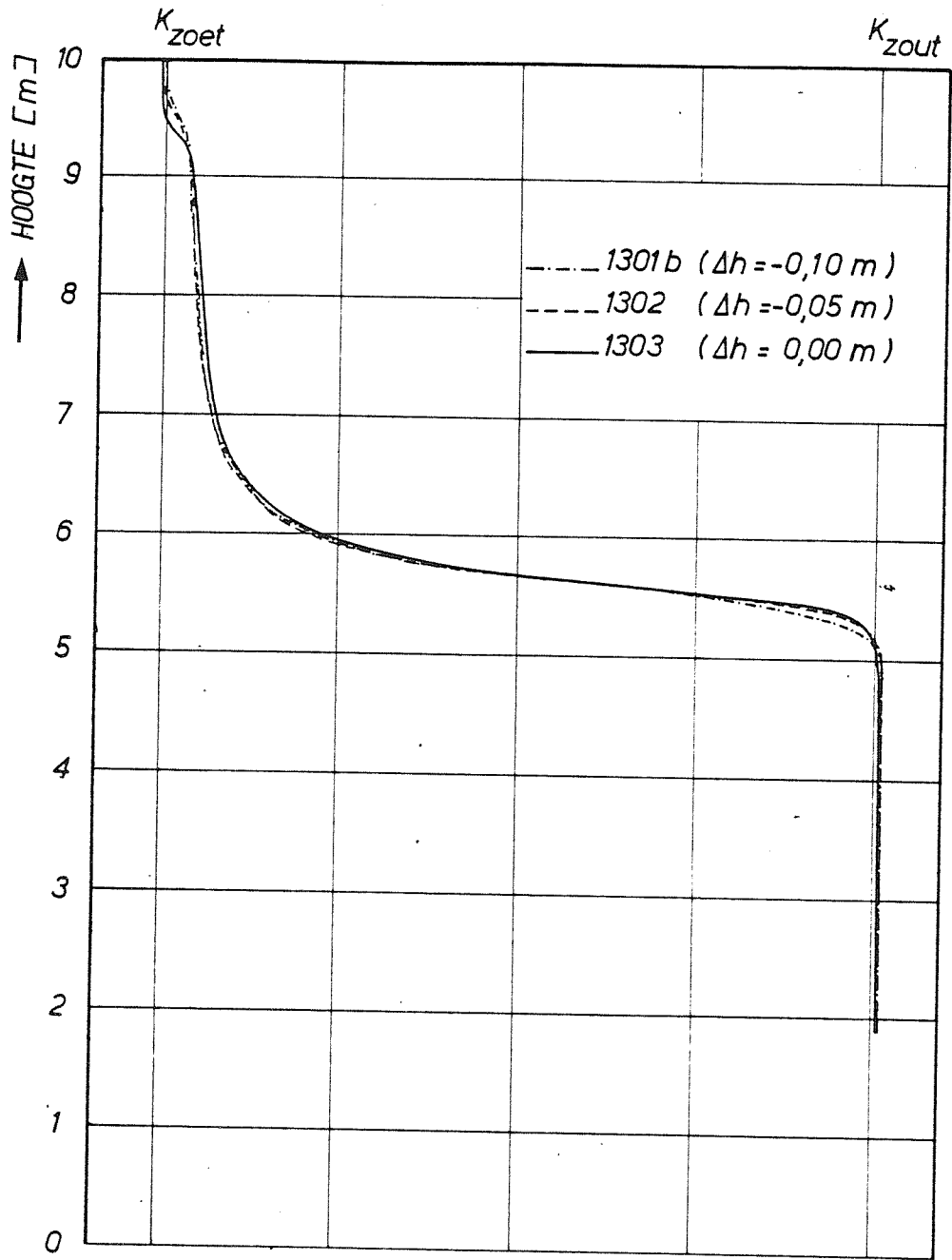
POMPKARAKTERISTIEK: HET POMPDEBIET ALS
 FUNKTIE VAN HET VERVAL EN TOERENTAL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1517

FIG. 1

A4



PROEF	T_{zoet}	K_{zoet}	ρ_{zoet}	T_{zout}	K_{zout}	ρ_{zout}
1301 b	18,56	2,54	999,57	21,81	46,54	1019,67
1302	18,46	2,56	999,60	21,21	45,95	1019,85
1303	—	3,94	—	16,49	39,80	1020,18

SCHEIDINGSVLAKSNELHEID 0,010 m/s ; dQ/dt 1,0 m³/s²
 NOODSCHUIFOPENING 50 %

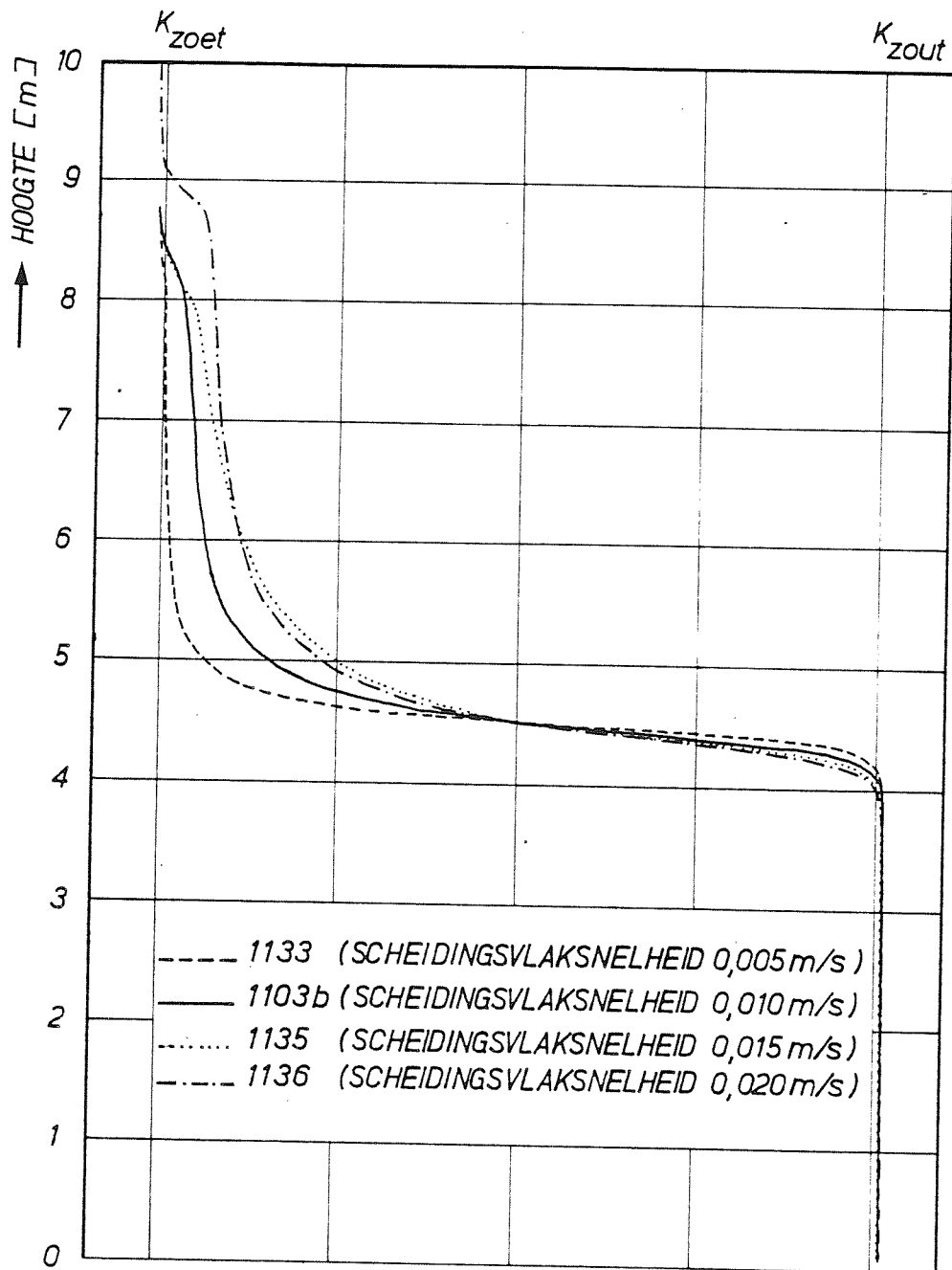
RESULTATEN ONDERZOEK M 1529-III ; DICHTHEIDSVERTIKALEN BIJ VERSCHILLENDE INITIËLE VERVALLEN OVER DE AFDICHTENDE REGELSCHUIVEN.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1517-1002

FIG. 2



PROEF	T_{zoet}	K_{zoet}	ρ_{zoet}	T_{zout}	K_{zout}	ρ_{zout}
1103b	17,40	2,34	999,72	19,56	43,93	1020,10
1133	16,43	2,91	1000,16	18,16	41,67	1019,95
1134	15,56	2,84	1000,30	17,03	40,60	1020,22
1135	15,92	2,85	1000,23	17,78	41,02	1019,88

NOODSCHUIFOPENING 50 %
 dQ/dt 1,0 m³/s²

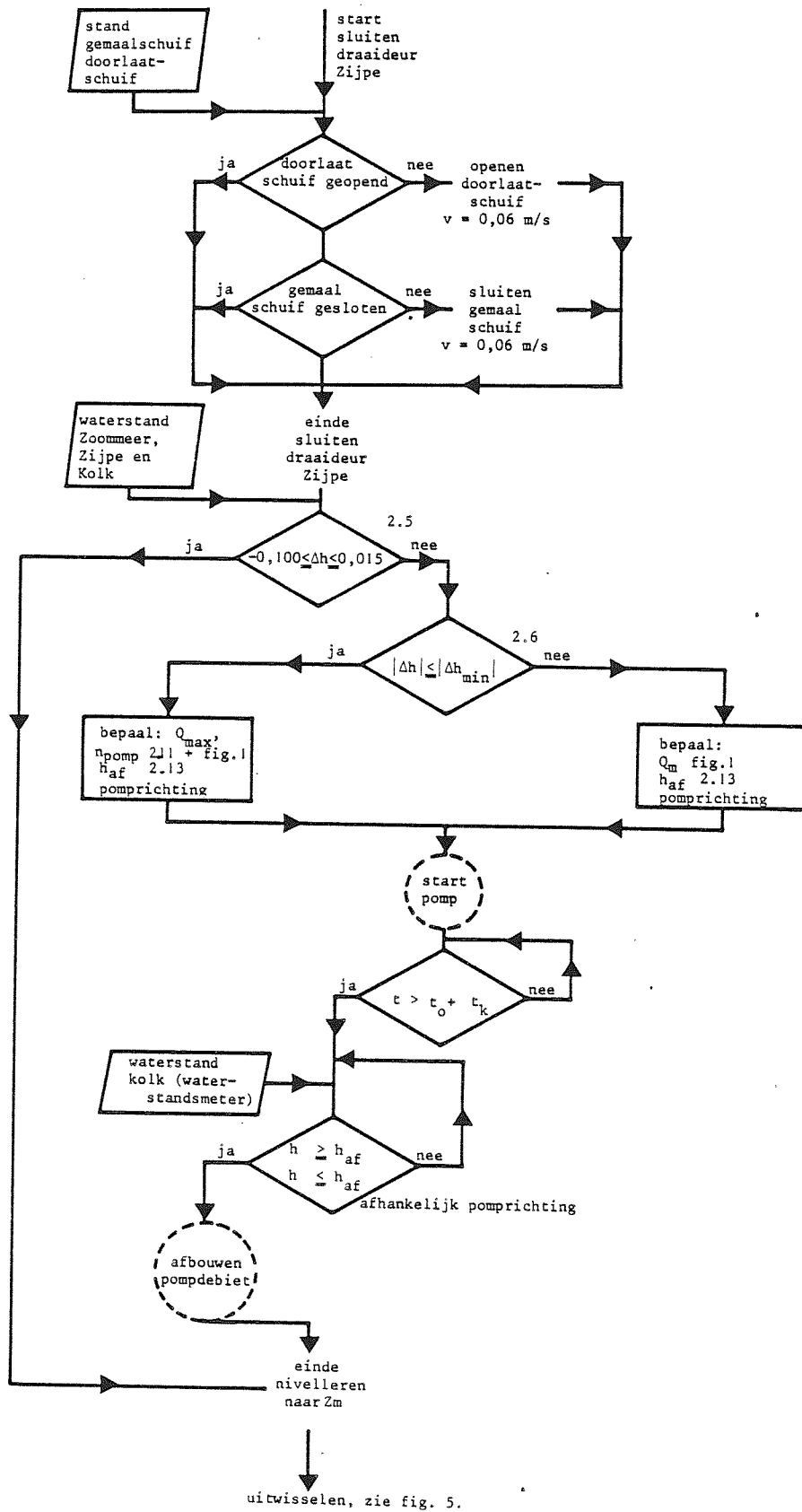
RESULTATEN ONDERZOEK M 1529- III ; DICHTHEIDS-
 VERTIKAAL BIJ VERSCHILLENDE SCHEIDINGSVLAK-
 SNELHEDEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1517- 1003

FIG. 3

A4



BESTURINGSSCHEMA VOOR NIVELLEREN NAAR ZOOMMEER PEIL (MET BEHULP VAN POMPEN)

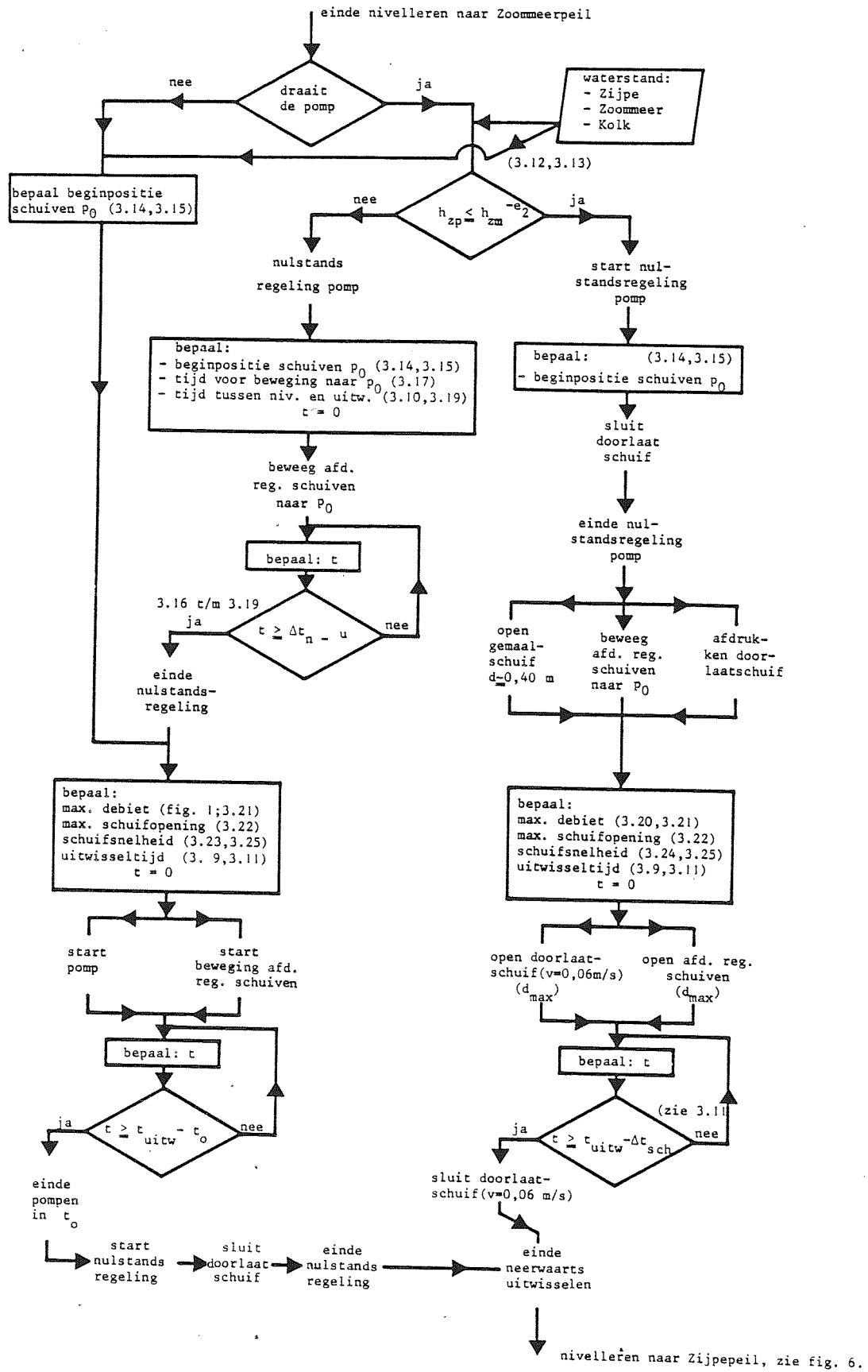
R.R.

A 4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1517-1004

FIG. 4



BESTURINGSSCHEMA VOOR HET NEERWAARTS UITWISSELEN

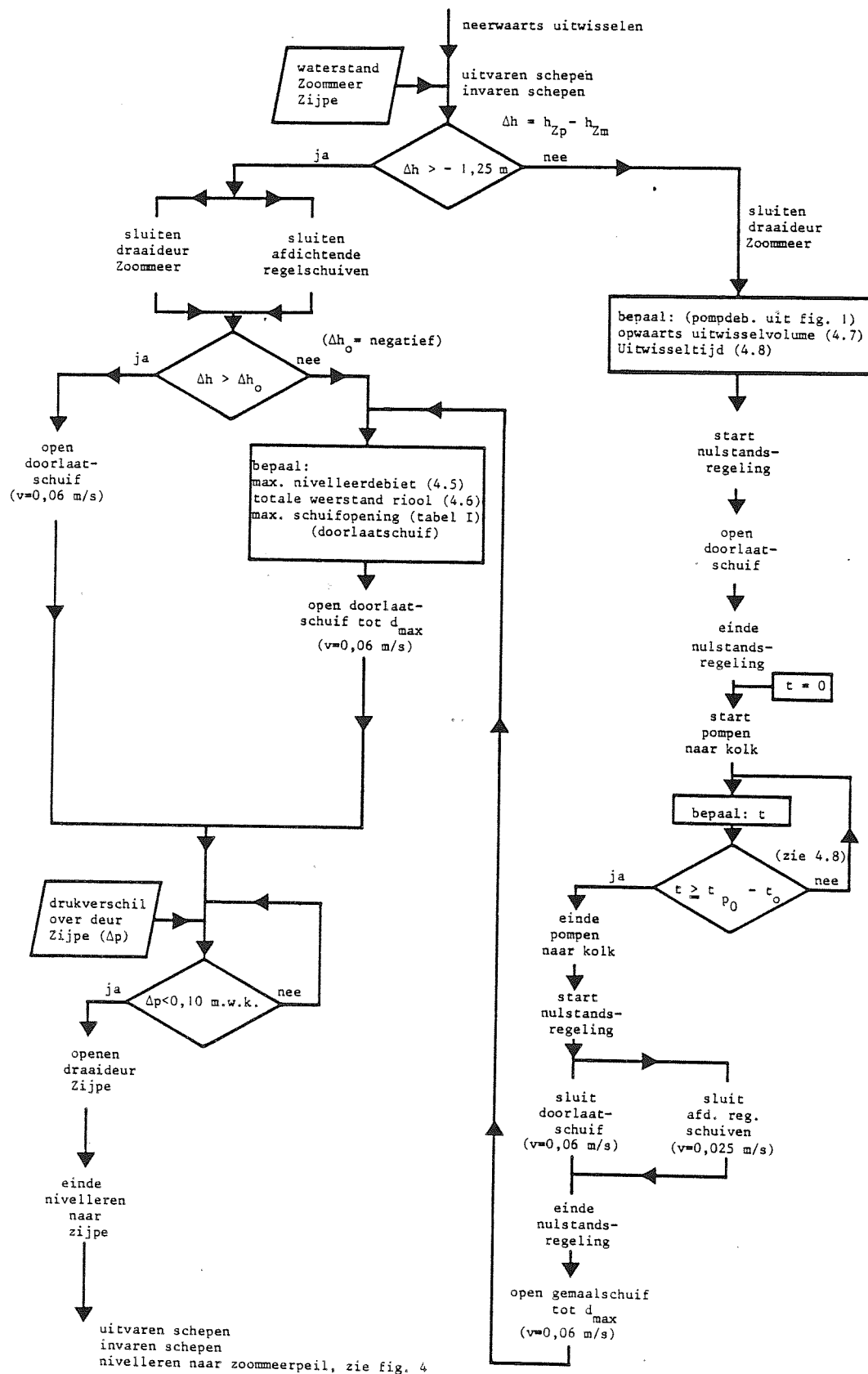
R.R.

A 4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1517-1005

FIG. 5



BESTURINGSSCHEMA VOOR NIVELLEREN
NAAR ZIJPE PEIL (ONDER VRIJ VERVAL)

R.R.

A 4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1517 - 1006

FIG. 6

