

2e exemplaar

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

sluizen in de compartimenteringsdammen

tweedimensionaal onderzoek
vormgeving kolkwand
kolkbreedte 12m

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

M 1431-I

februari 1979

M1431-1

23 MAART 1979

BIBLIOTHEEK
Waterloopkundig Laboratorium
Postbus 177 - DELFT

2e exemplaar

sluizen in de compartimenteringsdammen

tweedimensionaal onderzoek
vormgeving kolkwand
kolkbreedte 12m

verslag modelonderzoek

M 1431-I

februari 1979

INHOUD

Lijst van figuren
Lijst van tabellen
Lijst van symbolen

blz.

<u>1</u>	<u>Inleiding</u>	1
1.1	Opdracht	1
1.2	Probleemstelling	1
1.3	Maatgevende omstandigheden	3
1.4	Resultaten en konklusies	4
<u>2</u>	<u>Model</u>	8
2.1	Schaal	8
2.2	Beschrijving model	9
2.3	Meetapparatuur	10
<u>3</u>	<u>Onderzoek</u>	13
3.1	Beschrijving alternatieven	13
3.2	Meetprogramma	17
3.3	Definitie grootheden	18
3.4	Wijze van uitwerken meetgegevens	22
3.5	Nauwkeurigheid van de resultaten van het onderzoek	24
<u>4</u>	<u>Resultaten onderzoek</u>	26
4.1	Algemeen	26
4.2	Inleiding in fysische verschijnselen die optreden tijdens het uitwisselproces	26
4.3	Proeven kolkwand met niveauschuif	33
4.3.1	Algemeen	33
4.3.2	Invloed stand niveauschuif	34
4.3.3	Invloed schepen	37
4.3.4	Invloed plonsen	38
4.3.5	Eenzijdig uitwisselen	39
4.4	Proeven met kolkwand met afdichtende regelschuif	40
4.4.1	Algemeen	40
4.4.2	Invloed eindstand afdichtende regelschuif	40
4.4.3	Invloed schepen	43
4.4.4	Zoutverlies als functie van het zoetverlies	44

INHOUD (vervolg)

	blz.
4.4.5 Proeven met verhoogd en verlaagd omarmend zoet	47
4.4.6 Invloed bewegingssnelheid afdichtende regelschuif	51
4.4.7 Invloed debietprogrammering	52
4.4.8 Invloed dichtheidsverschil ($\Delta\rho$)	55
4.4.9 Proeven met eenzijdig uitwisselen van de sluis- kolk met resultaten 24 m brede sluis- kolk [2] voor de kolk- wand met afdichtende regelschuif	56
4.5 Globale vergelijking resultaten onderzoek 12 m brede sluis- kolk met resultaten 24 m brede sluis- kolk [2] voor de kolk- wand met afdichtende regelschuif	59

LITERATUUR

APPENDIX A

Lijst van figuren

- 1 Kompartimentering volgens model C3 met kanaal door Zuid-Beveland
- 2 Schutcyclus Philipsdamsluizen met getij en met terugwinnen van zoet water
- 3 Vormgeving kolkwand met niveauschuif
- 4 Vormgeving kolkwand met afdichtende regelschuif
- 5 Inrichting model (bovenaanzicht)
- 6 Inrichting model (doorsneden)
- 7 Pompsysteem op het model tijdens neerwaartse uitwisselfase
- 8 Pompsysteem op het model tijdens opwaartse uitwisselfase
- 9 Schuifstanden in de neerwaartse uitwisselfase voor de kolkwand met niveauschuif en kolkwand met afdichtende regelschuif
- 10 Modelschip vormgeving "duwbak"
- 11 Modelschepen vormgeving "kotter"
- 12 Dichtheidsvertikaal Kreekrakonderzoek
- 13 Dichtheidsvertikaal Kreekrakonderzoek
- 14 Zoutverlies als functie van de stand van de niveauschuif
- 15 Bepaling zoutverlies na het neerwaarts en opwaarts uitwisselen door middel van planimetreren van dichtheidsvertikalen
- 16 Doorsnede kolkwandriool bij kolkwand met niveauschuif
- 17 Dichtheidsvertikalen kolkwand met niveauschuif, invloed stand niveauschuif
- 18 Dichtheidsvertikalen kolkwand met niveauschuif, invloed schepen
- 19 Dichtheidsvertikalen kolkwand met niveauschuif, invloed schepen
- 20 Invloed van plonsen op het zout/zoetverlies bij een stand van de niveauschuif van NAP -0,20 m
- 21 Dichtheidsvertikalen kolkwand met niveauschuif, invloed plonsen
- 22 Dichtheidsvertikalen kolkwand met niveauschuif, invloed eenzijdig uitwisselen
- 23 Dichtheidsvertikalen kolkwand met niveauschuif, invloed eenzijdig uitwisselen
- 24 Beweging afdichtende regelschuif en waterniveau in kolk bij schuifbeweging tot NAP -0,70 m
- 25 Beweging afdichtende regelschuif en waterniveau in kolk bij schuifbeweging tot NAP -1,00 m
- 26 Beweging afdichtende regelschuif en waterbeweging in kolk bij schuifbeweging tot NAP -1,50 m
- 27 Dichtheidsvertikaal kolkwand met afdichtende regelschuif proef 200^b
- 28 Dichtheidsvertikaal kolkwand met afdichtende regelschuif proef 201^c

Lijst van figuren (vervolg)

- 29 Dichtheidsvertikaal kolkwand met afdichtende regelschuif proef 202
- 30 Doorsneden kolkwandriool bij het één- en tweezijdig uitwisselen
- 31 Zoutverlies als functie van de stand van de afdichtende regelschuif
- 32 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed stand afdichtende regelschuif
- 33 Dichtheid als functie van de tijd in en juist voor het kolkwandriool bij het neerwaarts uitwisselen
- 34 Dichtheid als functie van de tijd in en juist voor het kolkwandriool bij het opwaarts uitwisselen
- 35 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed schepen
- 36 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed schepen
- 37 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed schuifstand
- 38 Zoutverlies als functie van het zoetverlies bij een stand van de afdichtende regelschuif van NAP -1,00 m
- 39 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed teruggewinniveau (zonder schepen)
- 40 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed teruggewinniveau (zonder schepen)
- 41 Schema beweging afdichtende regelschuif en waterstand in kolk bij verschillende niveaus omarmend zoet
- 42 Beweging afdichtende regelschuif en waterniveau in de bij schuifbeweging tot NAP -0,70 m
- 43 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed verhoogd en verlaagd omarmend zoet
- 44 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed verhoogd en verlaagd omarmend zoet
- 45 Zoutverlies als functie van de stand van de afdichtende regelschuif bij verlaagd en verhoogd omarmend zoet
- 46 Dichtheid als functie van de tijd gemeten in het kolkwandriool bij verhoogd omarmend zoet
- 47 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed verhoogd en verlaagd omarmend zoet
- 48 Zoutverlies als functie van de stand van de afdichtende regelschuif bij verlaagd en verhoogd omarmend zoet
- 49 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed schuif-snelheid

Lijst van figuren (vervolg)

- 50 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed schuif-
snelheid
- 51 Beweging afdichtende regelschuif en theoretisch grensvlak bij debietpro-
grammering
- 52 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed debiet-
programmering
- 53 Dichtheid als funktie van de tijd gemeten in het kolkwandriool, bij de
debietprogrammering in de neerwaartse uitwisselfase
- 54 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed tijd-
stip grenslaagversnelling bij debietprogrammering
- 55 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed debiet-
programmering
- 56 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed debiet-
programmering
- 57 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed dicht-
heidsverschil
- 58 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed dicht-
heidsverschil
- 59 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed dicht-
heidsverschil
- 60 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed dicht-
heidsverschil
- 61 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed dicht-
heidsverschil dimensieloos uitgezet
- 62 Zoutverlies als funktie van de stand van de afdichtende regelschuif bij
variërend dichtheidsverschil
- 63 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed schepen
bij $\Delta\rho = 12 \text{ kg/m}^3$
- 64 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, overeenkomst
eenzijdig uitwisselen 12 m brede sluiskolk en tweezijdig uitwisselen
24 m brede sluiskolk
- 65 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed een-
zijdig uitwisselen
- 66 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed een-
zijdig uitwisselen
- 67 Zoutverlies als funktie van de stand van de afdichtende regelschuif bij
een- en tweezijdig uitwisselen
- 68 Zoutverlies als funktie van de stand van de afdichtende regelschuif bij
een- en tweezijdig uitwisselen

Lijst van figuren (vervolg)

- 69 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif, invloed eenzijdig uitwisselen
- 70 Zoutverlies als functie van de stand van de afdichtende regelschuif bij een- en tweezijdig uitwisselen
- 71 Zoutverlies als functie van het zoetverlies bij het eenzijdig uitwisselen
- 72 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif vergelijking 12 m en 24 m brede sluiskolk, gelijke grensvlaksnelheid, zonder schepen
- 73 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif vergelijking 12 m en 24 m brede sluiskolk, gelijke grensvlaksnelheid, met schepen
- 74 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif vergelijking 12 m en 24 m brede sluiskolk, gelijke stroomsnelheid boven de schuif, zonder schepen
- 75 Dichtheidsvertikalen kolkwand met afdichtende regelschuif vergelijking 12 m en 24 m brede sluiskolk, gelijke stroomsnelheid boven de schuif, met schepen

Lijst van tabellen

- I Proefgegevens
- II Proefgegevens
- III Proefgegevens

Lijst van symbolen

D	hydraulische straal	m
D	diameter	m
Fr	Froudegetal	-
Fr _i	intern Froudegetal	-
g	zwaartekrachtsversnelling	m/s ²
h _i	hoogte	m
K	elektrische geleidbaarheid	l/ohm.m
L	lengte	m
n _i	schaalfactor	-
Δp _{gem}	gemiddeld drukverschil	N/m ²
Q _i	debiet	m ³ /s
Re	Reynoldsgetal	-
S _i	saliniteit	kg/kg
T	temperatuur	°C
t	tijd	s
V _i	volume	m ³ /s
v _i	snelheid	m/s
δ	grenslaagdikte	-
ε	relatieve dichtheid (Δρ/ρ)	-
μ	kontraktiecoëfficiënt	-
ν	kinematische viscositeit	m ² /s
ρ _i	dichtheid	kg/m ³
Δρ	dichtheidsverschil	kg/m ³
i	index	

1 Inleiding

1.1 Opdracht

Verschillende scheepvaartsluizen in de kompartimenteringsdammen worden voorzien van een zout/zoetscheidingsstelsel dat is gebaseerd op het stelsel Duinkerken.

Een toepassing van dit stelsel heeft in Nederland reeds plaatsgevonden bij de Kreekraksluizen [1].

De grote lijn van het ontwerp, zo ook de vormgeving van de kolkwanden, is in eerste instantie afgeleid van het ontwerp van de Kreekraksluizen.

Door de toename van het inzicht in de mengprocessen tussen het zoute en het zoete water [4] kwam de vraag naar voren of uitgaande van deze kennis door optimalisatie van de kolkwandvormgeving de kwaliteit van het zout/zoetscheidingsstelsel niet vergroot kon worden. Om deze vraag te beantwoorden is in de beleidsbepaling van 29 juli 1976 met vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat (Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Deltadienst, Directie Bruggen, Directie Sluizen en Stuwen en Waterloopkundige Werken Oost van de Deltadienst) en van het Waterloopkundig Laboratorium voorgesteld nader onderzoek te verrichten naar de vormgeving van de kolkwanden van de schutsluizen.

Nadat de keuze voor een van de alternatieven van de kolkwand was gemaakt is het onderzoek voortgezet met als doel een eerste aanzet te geven tot het optimaliseren van de regeling van het uitwisselproces bij het gekozen alternatief.

In eerste instantie heeft de Deltadienst van de Rijkswaterstaat opdracht gegeven oriënterend tweedimensionaal onderzoek te verrichten voor een 12 m brede sluis. kolk.

Dit onderzoek kan vergeleken worden met resultaten van onderzoek voor andere zout/zoetscheidingsstelsels van gelijke sluisbreedte [10].

Na de eerste resultaten van dit onderzoek is besloten onderzoek te verrichten voor de 24 m brede duwvaartsluizen in de Philipsdam (gerapporteerd onder M 1431-II) [2]. De resultaten van het 12 m brede sluis. kolkonderzoek zijn in voorliggend rapport vastgelegd. Het onderzoek is uitgevoerd onder leiding van ir. J.A. Casteleijn, die tevens dit verslag samenstelde.

1.2 Probleemstelling

Bij de gekozen kompartimentering volgens C3 (zie fig. 1) wordt de, door middel van een pijlerdam beschermde zoute Oosterschelde, door de Philipsdam en Oesterdam afgesloten van zoetwaterbekkens. Om scheepvaart tussen beide gebieden mogelijk te maken is in beide dammen een sluizencomplex gesitueerd. Voor de Philipsdam zal dit complex bestaan uit twee duwvaartsluizen (24 m x 280 m) en twee jachtensluizen (9 m x 75 m), terwijl bij het schrijven van dit rapport de afmeting en het sluisstype van de Oesterdamsluis nog niet bekend was [3].

In verband met de kwaliteit van zowel het zoete water als het zoute water is het van belang zowel de zoutbelasting op het zoete water als de zoetbelasting op de zoute Oosterschelde te beperken. Het is dan ook om deze reden dat de sluizen worden voorzien van een zout/zoetscheidingssysteem.

De keuze van het bestrijdingssysteem voor de Philipsdamsluizen is reeds gemaakt. Zowel voor de duwvaartsluizen als voor de jachtensluizen is gekozen voor een zout/zoetscheidingssysteem zoals toegepast bij de Kreekraksluizen. Voor de sluis in de Oesterdam is dit zout/zoetscheidingssysteem een van de alternatieven.

In voorliggend onderzoek wordt het systeem voor de 12 m brede sluiskolk beschouwd.

Het Duinkerken-systeem is gebaseerd op het uitwisselen van de zoute kolkinhoud voor een zoete kolkinhoud en eventueel omgekeerd bij gesloten deuren (zie fig. 2).

De modificaties, die bij de Kreekraksluizen op dit systeem zijn aangebracht, hebben voornamelijk betrekking op vloer en kolkwand.

De vloer van de Kreekraksluizen heeft naast het beschermen van de zogenaamde grenslaag (zie par. 3.3) tegen menging door scheepsbeweging tevens tot doel een goede debietverdeling in lengterichting van de sluiskolk te bewerkstelligen. Bij het Duinkerken-systeem wordt het debiet direkt via de riolen regelmatig over de vloer verdeeld.

De afwijking van de kolkwanden heeft betrekking op de wijze waarop het zoete water in en uit de kolk wordt gebracht.

Bij het Duinkerken-systeem wordt bij het terugwinnen van zoet water het via de kolkwanden aan de sluiskolk onttrokken water door een omloopriool naar een verdiept gedeelte van het zoete pand gebracht, waarna het zoute water

onder uit dit reservoir naar het zoute pand wordt teruggepompt.

Bij het Kreekrakalternatief van dit systeem wordt de sluiskolk omgeven door het zogenaamde "omarmend zoete water". De kolkwanden worden hierbij de scheiding tussen de schutkolk en de langs de sluizen aangebrachte open waterloop, die in verbinding staat met het zoete pand (zie fig. 3). Via de in de kolkwand aangebrachte perforaties kan het zoete water vanuit het omarmend zoete water in de kolk worden gebracht en omgekeerd.

Als basisvormgeving van het onderzoek van de kolkwand is uitgegaan van de lay-out zoals deze is toegepast in de Kreekraksluizen (zie fig. 3). Per 4,45 m kolkwandlengte werd één perforatie aangebracht en wel 0,60 m hoog en 1,50 m breed. Aan de kolkzijde van de wand is een zogenaamde "niveauschuif" aangebracht. Het doel van deze schuif is steeds een gelijkvormig stroombeeld te creëren. Hiertoe wordt het niveau van de kruin van de schuif aangepast aan de waterstand op het omarmend zoet.

Uit onderzoek, waarbij de invloed van verbreding van de bruto sluisbreedte (bij gelijke dagmaat) op de kwaliteit van het zout/zoetscheidingsysteem is bekeken, kwam naar voren dat het oppervlak van de wandopening een belangrijke parameter vormde [4]. Een vergroting van de doorsnede zou een geringer zout-respektievelijk zoetverlies kunnen geven. Daarnaast vormde de ruimte tussen de niveauschuif en de wandschuif (zie fig. 3) een waterberging, welk volume bij elke schutcyclus als zoetverlies verloren gaat.

Verder is het mogelijk dat (afhankelijk van de stroomsnelheid in het kolkwandriool) een gedeelte van het volume direkt tengevolge van dichtheidsstroming als zoutverlies naar het zoete pand verdwijnt. Dit heeft ertoe geleid om uitgaande van deze gegevens bij de optredende randvoorwaarden tot een alternatieve vormgeving van de kolkwand te komen, de zogenaamde kolkwand met afdichtende regelschuif (zie fig. 4). In paragraaf 3.1 worden de beide onderzochte alternatieven nader uitgedetailleerd.

1.3 Maatgevende omstandigheden

Voor het onderzoek worden de randvoorwaarden voornamelijk bepaald door de situatie op het Zoommeer. De onbekendheid van de randvoorwaarden op de Oosterschelde (gemiddeld getij voor de situatie na 1985 op tijdstip van onderzoek nog niet vastgelegd) vormt voor het tweedimensionaal onderzoek geen probleem daar in dit onderzoek slechts de uitwisselfasen worden bekeken

(fase 4 en fase 9 van fig. 2) (zie par. 3.1).

Op het Zoommeer zal een normaal peil van circa NAP worden ingesteld [3]. Om voor de toekomst de mogelijkheden voor het waterbeheer van het Zoommeer niet te beperken, wordt bij het ontwerp van de kunstwerken rekening gehouden met een minimale waterstand van NAP -1,00 m en een maximale waterstand van NAP +0,50 m. Tevens dient nog rekening gehouden te worden met op- en afwaaiing van 0,25 m. De meeste proeven zijn uitgevoerd bij een waterstand op het omarmend zoet (waterstand Zoommeer) van NAP. Om de effecten van verhoogd en verlaagd omarmend zoet op de kwaliteit van het zout/zoetscheidingsysteem af te schatten zijn enige proeven uitgevoerd met andere waterstanden (zie par. 3.2).

Voor het dichtheidsverschil ($\Delta\rho$) is in eerste instantie een waarde 20 kg/m^3 aangehouden. Gezien de te verwachten plaatselijke verzoeting en verzouting van respectievelijk de Oosterschelde [5] en het Zoommeer [6] zijn enige aanvullende proeven met een dichtheidsverschil van 12 en 16 kg/m^3 gedaan.

1.4 Resultaten en konklusies

Opgemerkt zij dat hieronder de resultaten en konklusies kort zijn samengevat. Voor een meer gedetailleerde omschrijving wordt verwezen naar de bijbehorende paragrafen. Definities van gebezigde termen en grootheden worden verklaard in paragraaf 3.3.

Beperkende factoren

Alvorens tot een opsomming van de resultaten te komen lijkt het zinvol een overzicht te geven van de gedane veronderstellingen en de afwijkingen die optreden of te verwachten zijn in het prototype:

- het onderzoek is uitgevoerd zonder de geperforeerde vloer; de invloed hiervan op het zout/zoetverlies blijft buiten beschouwing
- de scheepsbeweging en de invloed hiervan op het zout- respectievelijk zoetverlies blijft buiten beschouwing
- het zoutverlies tengevolge van het openen van de deuren naar het zoete pand wordt niet weergegeven (zie definitie par. 3.3)
- bij proeven "met schepen" is de kolk over de volle lengte van de kolk (over de van toepassing zijnde doorsnede; afhankelijk van type schip) door schepen gevuld (de proeven zijn tweedimensionaal, invloed van driedimensionale effecten blijft dus buiten beschouwing)

- bij proeven "met schepen" heeft het schip steeds symmetrisch in de kolk gelegen
- de proeven zijn, indien niet anders vermeld, uitgevoerd bij konstant debiet (overeenkomend met $v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$) en een dichtheidsverschil tussen het zoute en zoete pand van 20 kg/m^3
- de sluiskolk is bij het begin van het neerwaarts uitwisselen volkomen met homogeen zout water gevuld
- de proeven zijn uitgevoerd in de vloedfase, dit heeft tot gevolg dat bij het begin van het neerwaarts uitwisselen het uitwisseldebiet reeds is ingesteld (zie par. 3.1).

Gezien bovenstaande punten kan uitgaande van het gemeten zout/zoetverlies geen direkte prognose voor het prototype worden verricht. Hiertoe zal de invloed van de andere grootheden mede bekend moeten zijn.

Resultaten

- Voor een stand van de niveauschuif (zie par. 4.3.2) bestaat uit oogpunt van zout/zoetoverwegingen op basis van kwalitatieve aspecten (vorm dichtheidsvertikalen) geen duidelijke voorkeur voor schuifstanden variërend van 0,50 m tot 1,50 m onder het omarmend zoete water. Op basis van kwantitatieve aspecten (zout/zoetverliezen) zijn met betrekking tot de kolkwand met niveauschuif geen konklusies te trekken.
- De dichtheidsvertikalen "met schepen" (schipbreedte 11,40 m) zijn voor het tweedimensionale onderzoek aanzienlijk scherper dan bij proeven "zonder schepen". Dit wordt in de eerste plaats veroorzaakt door het feit dat de grenslaag tussen schip en kolkwand snel zakt. Hierdoor zal de grenslaag slechts gedurende een korte tijd onderhevig zijn aan grote snelheden in de omgeving van de bovenkant van de schuif. In de tweede plaats heeft de nauwe ruimte tussen schip en kolkwand een stroomgeleidende functie, hetgeen nog wordt bevorderd door het remmingwerk dat zich tussen de kolkwand en het schip bevindt (par. 4.3.3 en par. 4.4.3).
- Indien het zoete water van een geringe hoogte op het zoute water wordt gestort (plonsen genoemd), heeft dit een zeer grote menging tussen het zoute en zoete water tot gevolg. Dit leidt bij het terugwinnen van (een bepaald percentage) zoet water tot aanzienlijke zoutverliezen (zie par. 4.3.4).
- Om zoutbelasting tijdens het begin van het neerwaarts uitwisselen op het omarmend zoet te voorkomen moet de stroming in het kolkwandriool of boven

de afdichtende regelschuif respektievelijk niveauschuif kritisch tot superkritisch zijn ($Fr_i \geq 1$ - zie par. 4.2).

- Gezien de grote kwalitatieve en kwantitatieve overeenkomst van de proeven met verschillende standen van de afdichtende regelschuif na het openen bij het begin van het neerwaarts uitwisselen is geen duidelijke voorkeur uit te spreken voor een bepaalde stand van de schuif (zie par. 4.4.2).
- Bij proeven "zonder schepen" wordt het niveau waartoe zoet water kan worden teruggewonnen voornamelijk bepaald door de stand van de afdichtende regelschuif (niveau bovenkant schuif). Bij proeven "met schepen" wordt dit niveau bepaald door het niveau van de onderkant van het schip. Indien het grensvlak tot een niveau hoger dan onderkant schip wordt teruggewonnen dan neemt het zoutverlies sterk toe (zie par. 4.4.4).
- Bij een situatie met ten opzichte van NAP verhoogd omarmende zoetwaterstand moet het niveau waartoe het grensvlak opwaarts wordt uitgewisseld worden gerelateerd aan een vast niveau in de kolk (b.v. NAP -3,00 m) en niet aan het niveau van de onderkant van het schip. Dit leidt anders tot een sterke toename van het zoutverlies. Bij een ten opzichte van NAP verlaagd omarmende zoetwaterstand is een koppeling aan het niveau van onderkant schip wel mogelijk (par. 4.4.5).
- Bij proeven met een verhoogd omarmende zoetwaterstand is de menging bij de kolkwand met afdichtende regelschuif in het begin van het neerwaarts uitwisselen groter dan in vergelijking met de referentiesituatie (waterstand op NAP).
Bij proeven met verlaagd omarmende zoetwaterstand is de menging in deze fase geringer. Dit wordt verklaard door het feit dat bij proeven met verlaagd omarmend zoet het zoete water in het begin van het neerwaarts uitwisselen niet door/langs een laag zout water hoeft te stromen en bij proeven met verhoogd omarmend zoet juist door/langs een extra dikke zoutwaterlaag moet worden gebracht. Door het toepassen van een afschuining in het plafond aan de kolkzijde van het kolkwandriool (van NAP -0,50 m naar NAP) zal de menging in het begin van het neerwaarts uitwisselen bij waterstanden hoger en gelijk aan NAP, naar mag worden verwacht, afnemen. Bovendien is het mogelijk de regelschuif bij het opwaarts uitwisselen 0,50 m hoger te plaatsen waardoor bij gelijkblijvend zoutverlies relatief meer zoet water kan worden teruggewonnen (zie par. 4.4.5).
- Proeven met de kolkwand met afdichtende regelschuiven geven bij een ten opzichte van NAP verlaagd omarmende zoetwaterstand kwalitatief (vorm

dichtheidsvertikalen) de beste resultaten. Proeven met een waterstand van het omarmend zoet op het referentieniveau van NAP leveren de beste kwalitatieve resultaten (geringste zout/zoetverliezen). Door het toepassen van een afschuining in het plafond, kan wellicht het kwalitatieve voordeel van het minder door/langs een zoutwaterlaag stromen van zoet water bij het begin van het neerwaarts uitwisselen (zie vorige konklusie) door het hoger in de kolk brengen van het zoete water ook gelden voor een omarmende zoetwaterstand van NAP. Voorts is hieruit gekonkludeerd dat de hoogteligging van het kolkwandriool niet behoeft te worden gewijzigd (zie par. 4.4.5).

- Door het verhogen van de snelheid van de afdichtende regelschuif in het begin van het neerwaarts uitwisselen zal de menging tengevolge van superkritische stroming boven de schuif minder lang optreden, hetgeen de scherpte van de dichtheidsvertikaal ten goede komt. Indien de regelschuif konstant met een lineaire snelheid geopend zal worden, zal echter de periode dat een subkritische stroming boven de schuif aanwezig is toenemen, waardoor tengevolge van menging in het kolkwandriool de dichtheidsvertikaal minder scherp wordt (zie par. 4.4.6).
- Door het toepassen van debietprogrammering (debiet bij begin neerwaarts uitwisselen reduceren) is voor de kolkwand met afdichtende regelschuif geconstateerd dat de menging in het begin van het neerwaarts uitwisselen kan worden verminderd. Door een interactie van debietprogrammering en schuifbeweging lijkt het mogelijk de stroming boven de afdichtende regelschuif in het begin van het neerwaarts uitwisselen juist kritisch te maken. Hierdoor zal naar verwachting de menging in deze fase van de schutcyclus minimaal zijn (zie par. 4.4.7).
- Bij afname van het dichtheidsverschil tussen het zoute en zoete pand neemt de dikte van de grenslaag een weinig toe. Dit leidt tot een geringe toename van het zoutwaterverlies indien tot een gelijk niveau opwaarts wordt uitgewisseld. In hoeverre dit leidt tot een toename van de zoutbelasting (kg Cl^- -ionen) is door de geringe toename van het zoutwaterverlies moeilijk te kwantificeren (zie par. 4.4.8).
- Het via één kolkwand uitwisselen (eenzijdig uitwisselen) is uit zout/zoetoverwegingen mogelijk. Aangeraden wordt de grensvlaksnelheid in deze situatie te reduceren (b.v. halvering ten opzichte van tweezijdig uitwisselen). Door een interactie tussen debietprogrammering en schuifbeweging lijkt een optimaal uitwisselproces te realiseren (zie par. 4.4.9).

- Vergelijking van het onderzoek van de 12 m brede sluiskolk en de 24 m brede sluiskolk onderschrijft de konklusie dat de snelheid juist boven de af-dichtende regelschuif de belangrijkste grootheid is in het mengproces en dat snelheid waarmee de grenslaag uit de omgeving van de verstoring getrok-ken wordt een minder belangrijke grootheid vormt (zie par. 4.5).

2 Model

2.1 Schaal

Het onderzoek heeft plaatsgevonden in een onvertrokken schaalmodel, schaal 1:20.

De modelfaciliteit die hiervoor is gebruikt was reeds eerder aangewend voor het onderzoek overbreedte [4] en kolkwandonderzoek, kolkbreedte 24 m [2]. Aangezien het een geometrisch model met vrije waterspiegel betreft, dienen de versnellings- en vertragingsskrachten tengevolge van de zwaartekracht in prototype en het model op dezelfde wijze weergegeven te worden.

Dit is het geval indien het Froudegetal

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g L}} \quad (1)$$

waarin v = snelheid
 g = zwaartekrachtsversnelling
 L = lengtemaat

in het prototype en het model dezelfde waarde heeft.

Afgeleid kan worden dat de schaalfactor (n) voor respectievelijk de snelheid, de tijd en het debiet gelijk is aan $n_v = n_L^{\frac{1}{2}}$, $n_T = n_L^{\frac{1}{2}}$, $n_Q = n_L^{\frac{5}{2}}$.

De invloed van de viscositeit dient in een model, evenals in de werkelijkheid, klein te zijn. Dit kan worden vertaald in de eis dat onder de meest extreme omstandigheden de invloed van turbulente menging in het model en prototype overeenkomt. Hieraan is bij het onderzoek voldaan.

Een opmerking dient te worden geplaatst bij de voortplantingssnelheid van het zoet- en zoutwaterfront in de sluiskolk.

Daar het om praktische redenen niet zinvol was de geperforeerde vloer (zie ook par. 2.2) in het model aan te brengen, is volstaan met een grindbed op NAP -10,00 m aan te brengen. Hierdoor zullen de loopsnelheden van optredende oppervlakte- en interne translatiegolven in het model niet overeenstemmen met de te verwachten waarden in het prototype. De konsekventies hiervan lijken voor dit onderzoek echter niet ingrijpend.

2.2 Beschrijving model

Zoals reeds in paragraaf 2.1 is gesteld is het onderzoek uitgevoerd in een modelfaciliteit waarin reeds meer tweedimensionaalonderzoek ten behoeve van de sluizen in de kompartimenteringsdammen heeft plaatsgevonden.

De modelfaciliteit kan voorgesteld worden als een bak met water, (oppervlakte ca. 3 m x 1,50 m) waarin met behulp van een (zig-zag) overlaat een vaste waterstand kan worden ingesteld (zie figuur 5). In deze bak worden losse eenheden geplaatst, die specifiek zijn voor het onderhanden zijnde onderzoek, in dit geval een moot van een 12 m brede sluiskolk van het Kreekraksysteem. De in het model weergegeven sluismoot heeft een nettolengte van 13,60 m prototype, ofwel drie gelijke wandeenheden met een breedte van ca. 4,50 m.

Het omarmende zoetwaterniveau wordt gerealiseerd met behulp van een zig-zag overlaat. Het water wordt met behulp van een pomp onder in het model gebracht (zie figuur 5 en 6), waarna het overtollige water over de zig-zag overstort weer naar het zoetwaterreservoir verdwijnt. Om de turbulentie te onderdrukken wordt zowel het inkomende water als het overtollige water door zogenaamde "gaatjesstenen" gestuurd.

Het zoute water wordt via een leidingsysteem van en naar een bak met zout water gepompt. Het debiet waarmee dit water uit en naar de kolk wordt gepompt, en daaraan gekoppeld de snelheid van stijgen en dalen van het grensvlak in de kolk, wordt bepaald met behulp van een debietmeter (type rotameter $\rho = 1020 \text{ kg/m}^3$) (zie figuren 7 en 8). De wijze waarop het zoute water in de neerwaartse uitwisselingsfase uit de kolk wordt gepompt is aangegeven in figuur 7, terwijl in figuur 8 de situatie is weergegeven in de opwaartse uitwisselingsfase. Zoals reeds in paragraaf 2.1 naar voren kwam, is in het model afgezien van het aanbrengen van de geperforeerde vloer. Een geperforeerde vloer is in het prototype om twee redenen gewenst. Ten eerste ten behoeve van het beschermen van het grensvlak bij scheepsbeweging en ten tweede voor het verkrijgen van een gelijkmatige debietverdeling over de vloer. Daar de scheepsbeweging bij dit onderzoek helemaal niet aan de orde is en een goede debietverdeling op een eenvoudiger manier kan worden verkregen is afgezien van het aanbrengen van de geperforeerde vloer. Hierbij wordt opgemerkt dat het weglaten van de geperforeerde vloer de zuiverheid van dit onderzoek alleen maar ten goede komt, daar bij het aanwezig zijn van de vloer de dichtheidsvertikaal, zoals deze ten gevolge van neerwaartse uitwisselingsfase en opwaartse terugwintfase wordt verkregen, ook door de vloer wordt vervormd (zie paragraaf 4.1).

Een gelijkmatige debietverdeling wordt aangebracht met behulp van een 0,10 m dik grindpakket onder in de kolk. Het pakket wordt door middel van een rooster gescheiden van een ruimte waarin het zoute water wordt toe- en afgevoerd. De ligging van dit pakket is zo diep gekozen (ca. NAP -10,00 m), dat onder alle reële onstandigheden het grind zich steeds in volkomen zout water bevindt. Dit is in de eerste plaats gewenst in verband met het niet beïnvloeden van de dichtheidvertikaal (indien meer zoet water in het grindpakket wordt getrokken, wordt de dichtheidsvertikaal bij het opwaarts uitwisselen vervormd). In de tweede plaats is een diepe ligging van het grindpakket gewenst in verband met het bepalen van het zoutverlies na het beëindigen van de proef (zie ook paragraaf 2.3). Voor het berekenen van het zoutverlies is het nodig, dat boven een bepaald gedefinieerd niveau het volume bekend is. Om dit volume eenduidig vast te leggen wordt na het beëindigen van de proef voorzichtig een schuif boven het grindpakket getrokken (zie figuur 6).

Deze schuif bevindt zich tijdens de proef in een sponning, die volkomen is afgesloten van het omarmend zoet water. Na het beëindigen van de proef kan door middel van klutsen de gemiddelde dichtheid boven het plaatniveau worden bepaald. Uit de gemiddelde dichtheid is de hoeveelheid zout en zoet water te bepalen (zie paragraaf 3.4).

Opgemerkt wordt dat het niveau van de plaat zodanig gekozen is dat het water op dit niveau (ca. NAP -9,50 m) altijd zout is.

De kolkwanden tot slot zijn als losse eenheden in de zijwanden van de bak van de sluis kolk geplaatst en kunnen op niet al te ingrijpende wijze worden vervangen door een alternatief. Voor verdere beschrijving van de kolkwanden wordt verwezen naar paragraaf 3.1.

2.3 Meetapparatuur

De meetapparatuur die op het model is gebruikt is in een tweetal hoofdgroepen te verdelen. Een onderscheid wordt gemaakt tussen de apparatuur die gebruikt wordt om de dichtheid van het zoete, brakke en zoute water te bepalen en de overige apparatuur.

a) dichtheidsbepaling

De dichtheid van water is bij voorgaand onderzoek in het algemeen bepaald via een directe meting met behulp van areometers.

Een areometer, een instrument dat drijvend in een homogene vloeistof direkt

een waarde voor de vloeistofdichtheid geeft, heeft onder gekonditioneerde omstandigheden een nauwkeurigheid van $0,1 \text{ kg/m}^3$.

De modelomstandigheden zijn echter zodanig dat moeilijk gesproken kan worden van gekonditioneerde omstandigheden. Ondanks het feit dat bij de proeven met een dubbel set areometers is gewerkt, zijn afwijkingen mogelijk tot $0,3 \text{ kg/m}^3$. Deze afwijkingen hebben een zodanige invloed op de resultaten (zie paragraaf 3.4 en 3.5), dat naar een andere bepaling van de dichtheid is gezocht.

Fysisch gezien wordt de dichtheid (ρ) bepaald door de temperatuur (t) en het zoutgehalte of saliniteit (S). De relatie tussen de grootheden is door verschillende onderzoekers empirisch bepaald.

Saliniteitsmeting is echter niet eenvoudig. Dit kan ondervangen worden door in plaats van saliniteit de elektrische geleidbaarheid (K) te meten [7].

De reproduceerbaarheid van de op deze wijze bepaalde dichtheid ($\rho = \rho(K,T)$), is inclusief de fouten die worden gemaakt bij het meten van de temperatuur en geleidbaarheid beter dan $0,2 \text{ kg/m}^3$.

In een later stadium is tevens de saliniteit (S) van het water in de berekening betrokken (zie paragraaf 3.4). De saliniteit wordt op gelijke wijze als de dichtheid met behulp van een empirische relatie uit de geleidbaarheid en temperatuur bepaald ($S = S(K,T)$) [7].

Het dichtheidsverloop tijdens de proef is met een drietal instrumenten vastgelegd. Met behulp van een grenslaagvolger is een bepaalde geleidbaarheid (maat voor dichtheid) tijdens op- en neerwaartse uitwisselfase gevolgd. Daarnaast is na het uitwisselen (zowel neerwaarts als opwaarts) een zoutvertikaal bepaald met behulp van een beweegbare zoutopnemer. Dit apparaat beweegt zich met een eenparige snelheid omlaag en omhoog waarbij als functie van de positie de geleidbaarheid wordt vastgelegd. Het laatste instrument met betrekking tot zoutmeting is de vaste zoutopnemer.

Hiermee is op twee posities als functie van de tijd de geleidbaarheid op een vast niveau vastgelegd. Een opnemer is voor het lokaliseren van de grenslaag in de opwaartse uitwisselfase op een hoogte van NAP $-2,00 \text{ m}$ in de kolk geplaatst, de tweede opnemer is in een latere fase van het onderzoek juist boven de bodem van één van de kolkwandriolen gehangen. Hiermee was het mogelijk na te gaan of zoutverlies heeft plaatsgevonden in de neerwaartse uitwisselfase en/of in de opwaartse uitwisselfase.

b) overige metingen

Bij het alternatief van de afdichtende regelschuif (zie paragraaf 3.1) varieert de waterstand in de kolk tijdens het uitwisselen. Daar deze waterstands-

verandering in verband met toelaatbare troskrachten ontoelaatbaar zou kunnen zijn, is deze verandering met behulp van een waterstandsvolger vastgelegd. Dit apparaat volgt de waterspiegel met een snelheid van maximaal 0,05 m/s proto. Bij dezelfde variant treedt een schuifbeweging op (snelheid 0,01 à 0,04 m/s), die met behulp van een verplaatsingsmeter is bepaald en vastgelegd.

De verpompte hoeveelheid water, welk volume bekend dient te zijn voor het bepalen van de zoutwaterbalans (zie paragraaf 3.4), is te bepalen uit waterstandsmetingen in de zoutbak (zie figuur 6).

Van dit reservoir is het volume als functie van de waterstand bekend.

3 Onderzoek

3.1 Beschrijving alternatieven

Bij het onderzoek zijn twee vormgevingen van de kolkwand bekeken.

De twee alternatieven zijn:

- vormgeving I : kolkwand met niveauschuif
- vormgeving II: kolkwand met afdichtende regelschuif.

In een detailonderzoek voor de Kreekraksluizen [8] is de vormgeving van de kolkrand bij de voor dat ontwerp gestelde randvoorwaarden geoptimaliseerd. Dit heeft geleid tot de kolkwand met niveauschuif, die voor voorliggend onderzoek identiek is gekozen aan het uiteindelijk ontwerp van de Kreekraksluizen. Zoals reeds bij de probleemstelling in paragraaf 1.2 is gesteld, leek het gewenst de kolkwandperforatie te vergroten. De omstandigheid dat bij deze vormgeving de afsluiting bij de wandschuif plaatsvindt, heeft naast de consequentie dat de ruimte tussen wandschuif en niveauschuif bij elke schutcyclus een bron voor zoetverlies vormt tevens tot gevolg dat bij het begin van het neerwaarts uitwisselen door de diepe ligging van het kolkwandriool (plafond NAP -2,00 m) het zoete water een aanzienlijke weg door/langs het zoute water af moet leggen. Dit zal de menging tijdens het begin van het neerwaarts uitwisselen doen toenemen. Om deze reden is, mede gezien de afwijkende randvoorwaarden bij het sluizencomplex ten opzichte van de situatie bij de Kreekraksluizen (bij Kreeksluizen altijd vloedsituatie) bekeken of de vormgeving van de kolkwand op bovengenoemde punten kon worden aangepast.

De kolkwand met afdichtende regelschuif (II) was hiervan het voorlopige resultaat (zie fig. 4).

De bruto doorsnede van het riool is ten opzichte van de vormgeving met niveauschuif van $0,20 \text{ m}^2/\text{m}'$ tot $0,50 \text{ m}^2/\text{m}'$ kolkwand vergroot. De scheiding tussen zout en zoet water wordt naar de kolkzijde van het kolkwandriool gebracht.

De hiervoor benodigde schuif heeft naast zijn, zoals de naam reeds suggereert, afdichtende functie nog een tweede functie en wel het regelen van het door de kolkwand stromende waterdebiet. Dit is vooral bij het begin van het neerwaarts uitwisselen van belang daar de snelheid waarmee het zoete water in/op het zoute water wordt gebracht in sterke mate bepalend is voor de menging in deze fase van de schutcyclus. Om het water op een zo hoog mogelijk niveau in de kolk te brengen, wordt de "afdichtende regelschuif" bij het openen neerwaarts bewegen. De schuifbediening van de bedrijfsschuiven (bij vormgeving I de wandschuif en bij vormgeving II de afdichtende regelschuif) is sterk afwijkend. Bij de vormgeving met niveauschuif wordt bij gelijk water over de kolkwand de

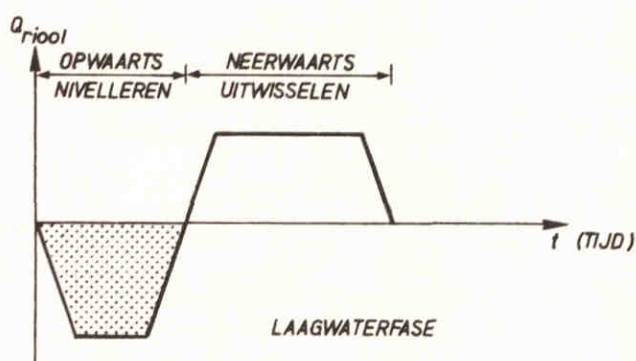
wandschuif in een zeer kort tijdbestek (10 seconden prototype) geopend. Wordt uitgegaan van de vloedfase dan wordt het debiet door de kolkwand (Q_{kolkwand}) in een zeer korte tijd opgebouwd (zie figuur 9).

Tijdens het openen van de afdichtende regelschuif zal het zoetwaterdebiet echter geleidelijk toenemen, waardoor de zoetwaterlaag langzaam wordt opgebouwd. Hierdoor zal de horizontale snelheid in de bovenlaag en dus naar mag worden aangenomen ook de menging gering zijn.

Afhankelijk van de getijstand kan dit repercussies geven voor de waterstand in de kolk.

In de laagwaterfase worden geen problemen verwacht.

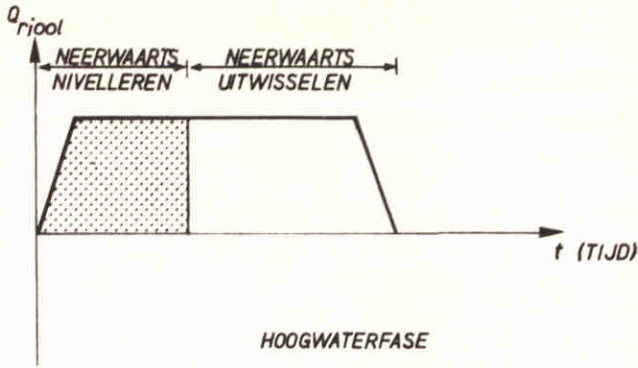
De waterstand in de sluiskolk wordt met behulp van water uit een hoger gelegen reservoir eerst op gelijk niveau met het omarmend zoet gebracht (opwaarts nivelleren, zie figuur 3.1).



Figuur 3-1: Debiet door riolen tijdens opwaarts nivelleren en neerwaarts uitwisselen

Hierna kan het neerwaarts uitwisselproces aanvangen waarbij het debiet door het kolkwandriool (Q_{kolkwand}) kan worden aangepast aan het riooldebiet (Q_{riool}).

In de hoogwaterfase ligt dit echter anders. Indien wordt uitgegaan van de debietrealisatie zoals toegepast op de Kreekraksluizen (in definitieve situatie bij Kreekraksluizen altijd vloed!) zal de nivelleerfase direkt worden gevolgd door de neerwaarts uitwisselfase (zie figuur 3.2).

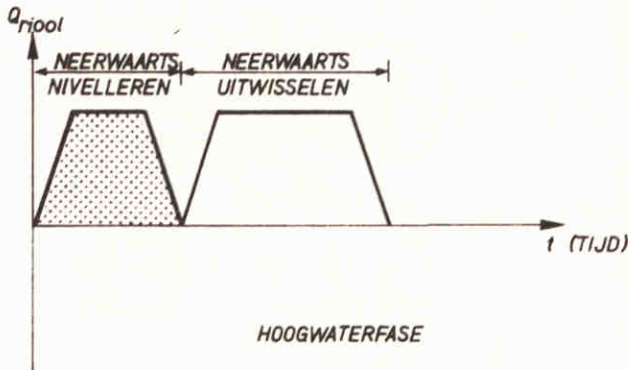


Figuur 3-2: Debiet door riolen tijdens neerwaarts nivellereen en neerwaarts uitwisselen (hoogwaterfase)

Dit is te realiseren vanwege het feit dat de wandschuif zeer snel (ca. 10 s proto) kan worden getrokken.

Indien het riooldebiet bij een vormgeving van de kolkwand volgens de afdichtende regelschuif op identieke wijze zou worden gerealiseerd zal (uitgaande van het geleidelijk openen van de afdichtende regelschuiven) de waterstand in de kolk in het begin van het neerwaarts uitwisselen aanzienlijk dalen ($Q_{riool} \neq Q_{kolkwand}$). Dit kan voor de in de kolk liggende schepen een hinderlijke scheepsbeweging tot gevolg hebben.

Een mogelijke oplossing van dit probleem zou kunnen zijn in de hoogwaterfase ook het debiet tijdelijk af te bouwen (zie figuur 3.3).



Figuur 3-3: Debiet door riolen tijdens neerwaarts nivellereen en neerwaarts uitwisselen (hoogwaterfase)

Dit geeft wel een gering verlies aan schutcapaciteit doch heeft het voordeel van een altijd gelijk systeem van uitwisselen.

Het onderzoek is uitgevoerd in de hoogwaterfase waarbij is geschut zoals weer-gegeven in figuur 3.2.

Ten einde inzicht te krijgen in de verschillende gebeurtenissen die achtereenvolgens aan het begin van het neerwaarts uitwisselen plaatsvinden wordt in het onderstaande voor beide alternatieven deze fase van het schutproces beschreven. De beginsituatie is voor beide vormgevingen gelijk; te weten: de waterstand bij het begin van het nivelleren in de kolk is gelijk aan de waterstand op het omarmend zoet, terwijl het water in de kolk met zodanig debiet wordt afgelaten dat het waterniveau zich met een eenparige snelheid v_g neerwaarts beweegt.

Kolkwand met niveauschuif (I - zie figuur 3)

- op een tijdstip t_0 bij het bereiken van gelijk water over de kolkwand worden de wandschuiven zo snel mogelijk getrokken (ca. 1 à 2 sekonden model komt overeen met ca. 5 à 10 sekonden prototype)
- het debiet door de kolkwandperforatie wordt na het zich instellen van een evenwichtsverval over de kolkwand vrij snel konstant ($Q_{\text{kolkwand}} = Q_{\text{riool}}$).

Kolkwand met afdichtende regelschuif (bij gebruik volgens systeem figuur 3.2 II - zie figuur 4)

- de afdichtende regelschuiven worden, met uitzondering van de situatie met verlaagd omarmend zoet, op een tijdstip t_0 met een eenparige beweging v_s naar beneden getrokken
- tot het ogenblik dat de bovenkant van de schuif de bovenzijde van het kolkwandriool passeert, zal het water slechts door de spleet tussen schuif en kolkwand lekken
- op het tijdstip $t = t_0 + a/v_s$, waarin a het hoogteverschil tussen bovenkant schuif in gesloten stand en plafond van het riool, v_s = schuifsnelheid en t_0 het tijdstip waarop gelijk water over de kolkwand wordt bereikt, zal het water over de schuif de kolk instromen. In de beginfase zal dit ten gevolge van relatief grote weerstand nog gering zijn, doch het debiet zal bij het toenemen van de schuifopening snel toenemen
- tot het moment dat het debiet, dat door het kolkwandriool de sluis kolk binnenstroomt, gelijk is aan het debiet dat uit de sluis wordt afgevoerd ($Q_{\text{riool}} = Q_{\text{kolkwand}}$), zal de waterstand in de kolk dalen. Deze daling wordt in de fase die hierop volgt weer teniet gedaan als de schuiven verder worden opgetrokken ($Q_{\text{kolkwand}} > Q_{\text{riool}}$)
- afhankelijk van de proef is de schuifbeweging gestopt bij NAP -1,50 m (geheel open), NAP -1,00 m en NAP -0,70 m. De hoogte van de openingen boven de schuif bedragen dan respectievelijk 1,00 m, 0,50 m en 0,20 m. De wijze

waarop de overige variabelen zijn gevarieerd wordt beschreven in paragraaf 3.2.

Vergelijking van bovenbeschreven alternatieven maakt duidelijk dat de instroomomstandigheden duidelijk verschillend zijn.

Bij de kolkwand met niveauschuif wordt een konstant debiet in een korte periode bereikt, terwijl dit bij de kolkwand met afdichtende regelschuif zeer geleidelijk wordt gerealiseerd. Op de konsekwenties van dit essentiële verschil voor het zout/zoetgebeuren wordt in hoofdstuk 4 uitgebreid teruggekomen.

3.2 Meetprogramma

Het onderzoek is, in de tijd gezien, in een tweetal fasen uitgevoerd. In het vierde kwartaal van 1976 is met name het onderzoek met de kolkwand met niveauschuif verricht en is een aantal oriënterende proeven met de kolkwand met afdichtende regelschuif uitgevoerd.

Het onderzoek voor een 24 m brede sluiskolk [2] had gezien het tijdschema van het ontwerp voor de duwvaartsluizen in de Philipsdam echter hogere prioriteit dan het onderzoek voor een 12 m brede sluiskolk zodat voorliggend onderzoek van de kolkwand met afdichtende regelschuif circa een halfjaar is stilgelegd. De inzichten die uit de eerste fase van het onderzoek van de 12 m brede sluiskolk en het onderzoek van de 24 m brede sluiskolk zijn verkregen, leidden ertoe de proeven voor de kolkwand met afdichtende regelschuif te herhalen (zie paragraaf 4.3.1).

Tevens is het proevenprogramma in een later stadium aanzienlijk uitgebreid. Dit werd onder andere veroorzaakt door de keuze voor de kolkwand met de afdichtende regelschuif voor de sluizen in de Philipsdam (zowel duwvaart- als jachtensluizen). Dit maakte aanvullend onderzoek ter onderkenning van de invloed van de verschillende parameters op de kwaliteit van het bestrijdingssysteem voor het gekozen alternatief gewenst.

De bij het onderzoek gevarieerde parameters zijn de schuifstand (210 serie), de schuifsnelheid (235 serie), dichtheidsverschil over het sluizencomplex (240 serie, waterstand omarmend zoet (250 serie voor verhoogd en 260 serie voor verlaagd omarmend zoet) en het uitwisseldebiet (debietprogrammering 230 serie).

Hiernaast was onderzoek gewenst voor de jachtensluis van de Philipsdam [9]. Alvorens tot het onderzoek voor de 24 meter brede sluiskolk over te gaan,

waren enige oriënterende proeven verricht om de mogelijkheid te onderzoeken slechts aan een kolkwandzijde een perforatie aan te brengen. Met name voor een smalle ondiepe sluis waarbij het terugwinnen van zoet water geen vereiste is (jachtensluis 9 * 75 m, diep NAP -3,70 m), leek dit een reëel alternatief. De oriënterende proeven gaven aan dat het zogenaamde "eenzijdig uitwisselen" uit oogpunt van zout/zoetoverwegingen te realiseren was doch dat bij toepassing van dit alternatief enig aanvullend onderzoek ter onderkenning van de specifieke problemen gewenst was. Na de keuze voor het eenzijdig uitwisselen bij de Jachtensluizen is dit onderzoek in de faciliteit van het 12 m brede kolkwandonderzoek uitgevoerd (300 serie).

Tot slot zijn ter vergelijking van het zout/zoetverlies van het Kreekraksysteem met sluistypen met een ander zout/zoetscheidingsstelsel (Zoute-baksluis, Liftsluis [10]) enige aanvullende proeven verricht waarbij relatief veel zoet water wordt teruggewonnen (210 serie). Normaliter is bij de proeven zoveel zoet water teruggewonnen dat het "theoretisch gewenst terugwinniveau" (zie definitie par. 3.3) na het opwaarts uitwisselen op een niveau gelijk het niveau van de onderkant van het schip lag. (Bij een omarmende zoetwaterstand van NAP en een schip dat 2,50 m diep steekt derhalve tot NAP -2,50 m). Daar bij de alternatieve sluistypen Zoute-baksluis en Liftsluis in de vergelijkbare fase van de schutcyclus de grenslaag relatief hoger ligt [10] en derhalve minder zoetwaterverlies optreedt, was het ter vergelijking van de drie scheidingsstelsels gewenst enige proeven uit te voeren waarbij meer zoet water werd teruggewonnen.

Er zijn proeven uitgevoerd "met en zonder schepen" in de sluis. Het geschematiseerde schip had een breedte van 11,40 m (zie fig. 10) en stak 2,50 m diep. Het schip is zodanig ontworpen dat de lengte van het schip vrijwel overeenkomt met de lengte van de sluis. Bij het onderzoek van de kolkwand met niveauschuif zijn enige proeven uitgevoerd "met schepen" met een breedte van 4,50 m en een diepgang van 1,50 m en wel van het bakprofiel en driehoekig profiel (zie fig. 11). Dit uitgaande van de gedachte, dat bij een 12 m brede sluis (b.v. Oesterdamsluis) veel aanbod van dit soort schepen (kotters) mag worden verwacht.

3.3 Definitie grootheden

Ter verduidelijking is in dit rapport een paragraaf toegevoegd waarin wordt getracht alle gebruikte termen eenduidig te definiëren. Dit mede gezien het feit dat in dit rapport aan bepaalde termen betekenissen worden gegeven die afwijken van de gebruikelijke definities.

- Zoutverlies

Het zoutverlies (ook wel zoutbezwaar genoemd) is de hoeveelheid zout water, die het zoete pand bereikt.

Het zoutverlies is opgebouwd uit twee delen en wel het water dat via de kolkwandriolen naar het omarmend zoet verdwijnt, en het water dat in de fase dat de sluisdeuren naar het zoete pand geopend zijn door dichtheidsstroming en scheepsbeweging naar het zoete pand afstroomt. Figuur 12 geeft de verandering te zien van de vorm van de dichtheidsvertikaal na het openen en sluiten van de deuren naar het zoete pand, zoals gemeten in het overzichtsmiddel van de Kreekraksluizen [11].

Opgemerkt wordt dat dit dichtheidsvertikalen betreft gemeten in de stationaire situatie hetgeen wil zeggen dat dynamische effecten die onder andere worden veroorzaakt door interne golven zijn uitgedempt.

Bij voorliggend tweedimensionaal onderzoek komt de fase van het openen en sluiten van de deuren niet voor. Het zoutverlies, dat op dit model optreedt omvat derhalve slechts het zoutverlies via de kolkwandriolen.

Hierbij moet echter opgemerkt worden dat het afstromen van het zoute water naar het zoete pand via de "sluisdeuren" aan de zoete pandzijde tot gevolg heeft dat de dichtheidsvertikaal scherper wordt [11]. Bij terugwinnen van zoet water (opwaarts uitwisselen) zal derhalve minder zout water via de kolkwandriolen op het zoete pand worden gebracht. In hoeverre deze twee effecten elkaar in het tweedimensionaal model opheffen is niet aan te geven. Opgemerkt wordt dat het zoutverlies in de tabellen en figuren wordt uitgedrukt in liters met een dichtheid van het zoute water.

- Zoetverlies

Het zoetverlies is de hoeveelheid zoet water dat het zoute pand bereikt.

In het prototype omvat dit de hoeveelheid zoet water die tijdens het openen van de sluisdeuren naar het zoute pand uitwisselt, vermeerderd met de hoeveelheid zoet water die mogelijk via de riolen het lage bekken bereikt.

Voor het zoetverlies wordt voor dit onderzoek genomen de hoeveelheid zoet water die na het opwaarts uitwisselen nog in de kolk aanwezig is. Een effect dat niet in het tweedimensionale model optreedt en derhalve ook niet tot een zoetverlies aanleiding geeft is het volume zout water dat bij het openen van de deuren naar het zoete pand afstroomt. Een gelijke hoeveelheid zoet water zal uit oogpunt van continuïteit naar de kolk stromen en zal een extra zoetverlies geven (zie ook zoutverlies).

- Nivelleren

Waterstand in de kolk gelijk maken met waterstand op het pand waar naartoe geschut moet worden.

Afhankelijk van de waterstand waarvan men uitgaat, kan het nodig zijn de kolkwaterstand te doen stijgen of dalen.

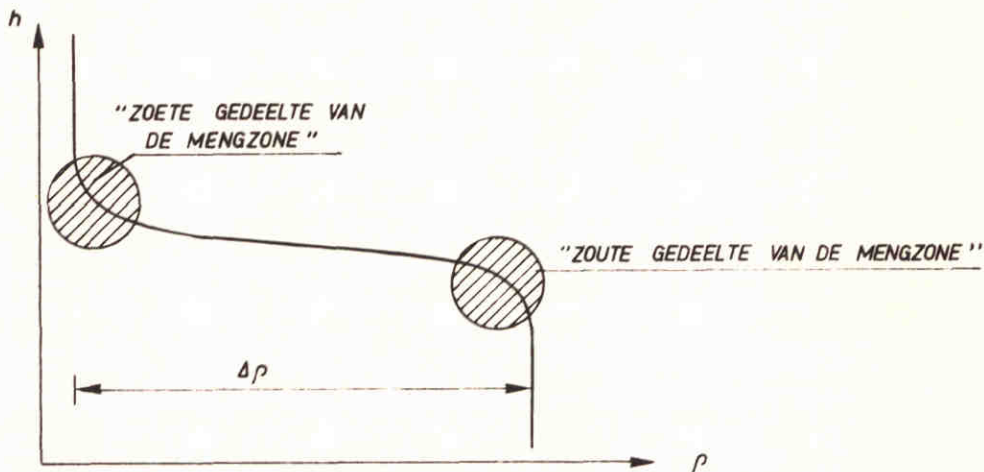
- Uitwisselen

Het vervangen van het kolkvolume zoet water door zout water of omgekeerd. Wordt een zoute kolk omgezet in een zoete kolk, dan wordt de grenslaag in neerwaartse richting verplaatst, zodat van neerwaarts uitwisselen wordt gesproken. Bij het omzetten van een zoete kolk in een zoute kolk wordt opwaarts uitgewisseld (terugwinnen zoet water).

- Dichtheidsvertikaal

De dichtheidsvertikaal (zie figuur 3.4) geeft als functie van de hoogte het verloop van de dichtheid weer. Globaal kunnen een vijftal karakteristieke gebieden in de dichtheidsvertikaal worden onderscheiden en wel:

- a) gebied met dichtheid van het zoete water (ρ_1)
- b) zoete gedeelte van de mengzone
- c) grenslaag (zie hiernavolgende definitie)
- d) zoute gedeelte van de mengzone
- e) gebied met dichtheid van het zoute water (ρ_2)



Figuur 3-4: Karakteristieke gebieden in de dichtheidsvertikaal

De dichtheidsvertikalen in voorliggend onderzoek zijn in stationaire situaties gemeten (interne golven uitgedempt).

De in de figuren weergegeven dichtheidsvertikalen (zie b.v. figuur 17) hebben betrekking op twee situaties te weten de situatie na het neerwaarts uitwisselen (grensvlak op ca. NAP -6,25 m) en na het opwaarts uitwisselen. In de figuur staat tussen haakjes tevens het theoretisch optredend teruggewinniveau aangegeven (.....). (De definitie van dit niveau wordt hieronder in deze paragraaf gegeven.)

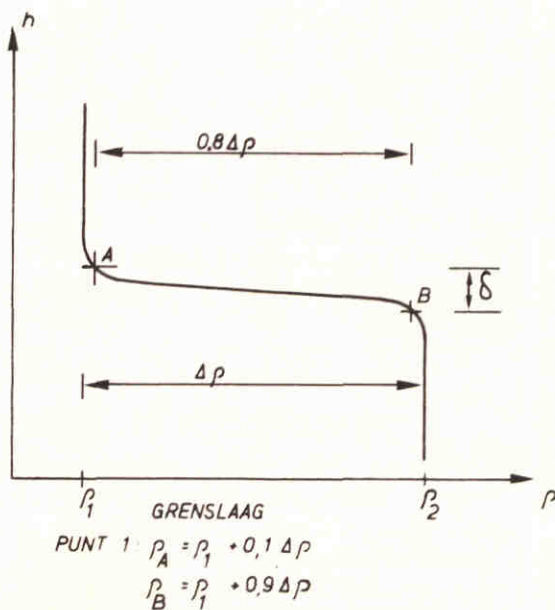
- Grenslaag

De grenslaag wordt gedefinieerd als de hoogte van het overgangsgebied van het zoete naar het zoute water (zie figuur 3.5).

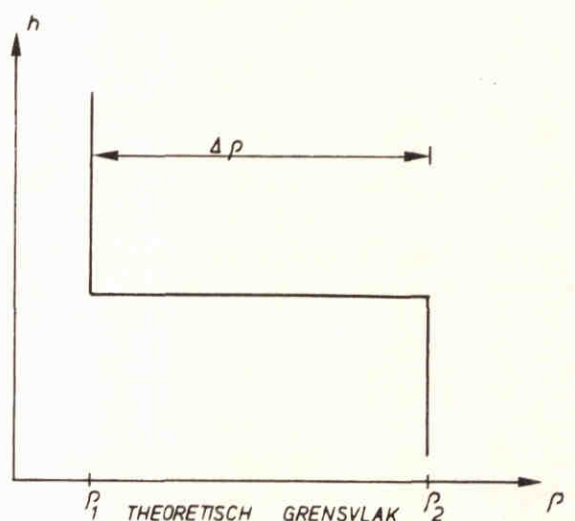
In dit kader wordt dezelfde definitie aangehouden als in [12], waarbij als grenzen van de laag respectievelijk 10% en 90% van het dichtheidsverschil wordt genomen.

- Grensvlak

Het grensvlak is het waterniveau waarboven zich een even groot volume zout water bevindt als zoet water eronder. Als het ware wordt de grenslaag om zijn zwaartepunt blokvormig voorgesteld (zie figuur 3.6). Daar het in de meeste gevallen een schematische voorstelling betreft wordt dit aangegeven met theoretisch grensvlak.



Figuur 3-5: Grafische weergave grenslaag

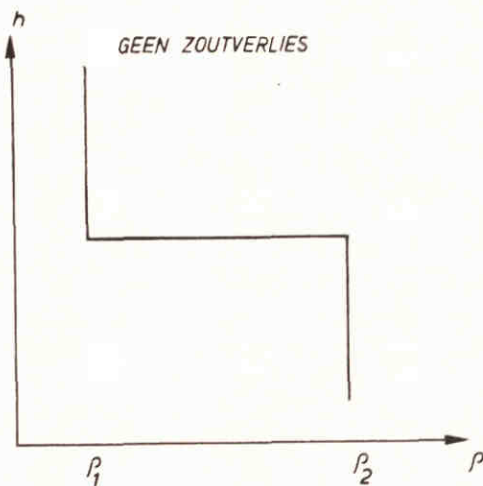


Figuur 3-6: Grafische weergave theoretisch grensvlak

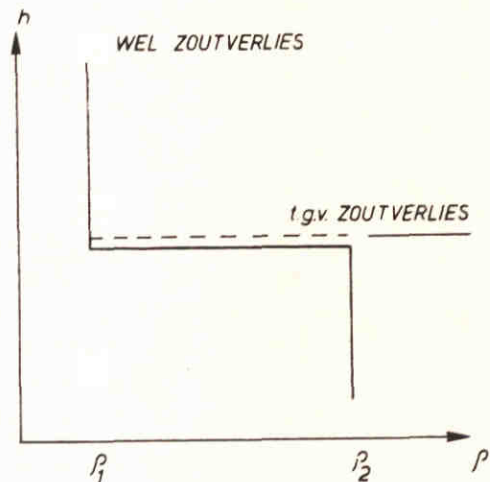
- Terugwinniveau

Tijdens de proeven en ook tijdens het uitvoeren van de schutcyclus in het prototype, is de vorm van de dichtheidsvertikaal en dus de ligging van de grenslaag onbekend.

Om deze reden wordt het terugwinniveau op gelijke wijze gedefinieerd als het theoretisch grensvlak. Het terugwinnen geschiedt tot een van te voren gewenst niveau. De verschillende aannamen komen dan ook tot uitdrukking in de term "theoretisch gewenst terugwinniveau" (zie fig. 3.7). Tijdens de proeven zal er echter zoutverlies optreden. Dit doet het grensvlak dalen, en uitgaande van een bekend zoutverlies is dan het zogenaamde "theoretisch optredende terugwinniveau" (zie fig. 3.8) te bepalen.



Figuur 3-7: Grensvlak: theoretisch gewenst terugwinniveau $\hat{=}$ theoretisch optredend terugwinniveau



Figuur 3-8: Grensvlak: theoretisch gewenst terugwinniveau \neq theoretisch optredend terugwinniveau

- Uitwisselvolume

Het uitwisselvolume is gedefinieerd als de inhoud van de sluismoot (lengte 13,6 m proto) gelegen tussen NAP en NAP -6,25 m (bovenkant vloer). Deze definitie van uitwisselvolume is zowel gehanteerd in de situatie met als zonder schepen in de sluisloik. Het uitwisselvolume op het model was voor het alternatief met afdichtende regelschuif 151,8 l en voor het alternatief met niveauschuif 159,0 l groot.

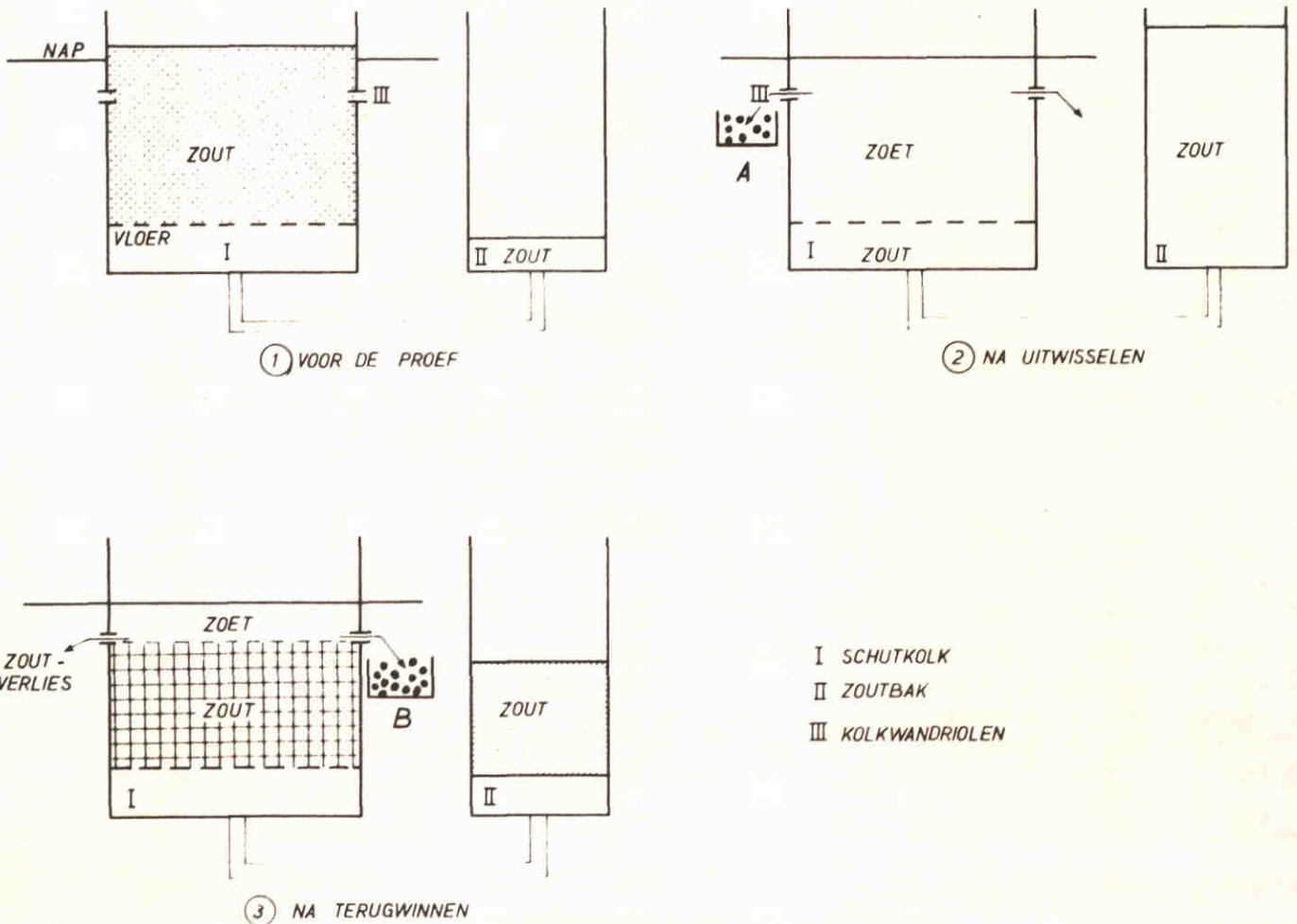
- Scheepsvolume

Het scheepsvolume wordt gedefinieerd als de waterverplaatsing van de schepen in water met een zoutmilieu. Afhankelijk van de proefomstandigheden bedroeg de dichtheid 1012, 1016 of 1020 kg/m³. De waterverplaatsing van modelschip "Duwbak" (zie fig. 10) bedroeg 47,7 l. De waterverplaatsing van respectievelijk kotter A en B (zie fig. 11) 11,3 l en 5,7 l.

3.4 Wijze van uitwerken meetgegevens

Uitgaande van berekende dichtheden en saliniteiten (zie par. 3.5) van het zoete water, zoute water en het na afloop geklutste water in de kolk (brak genoemd) kan bij het bekend zijn van het kolkvolume de hoeveelheid zoet en zout water in de kolk met behulp van een volume-, massa- en zoutbalans worden bepaald.

Alvorens hiertoe over te gaan, wordt in het schema (zie fig. 3.9) de herkomst van de verschillende grootheden weergegeven.



Figuur 3-9: Schematische weergave van de volumina ter bepaling van het zoutverlies

Volumebalans: (na terugwinnen zoet water)

Volume kolk = Volume zoet water + Volume zout water

$$V_{\text{kolk}} = V_{\text{zoet}} + V_{\text{zout}} \quad (2)$$

Massabalans:

$$\rho_{\text{brak}} \cdot V_{\text{kolk}} = V_{\text{zoet}} \cdot \rho_{\text{zoet}} + V_{\text{zout}} \cdot \rho_{\text{zout}} \quad (3)$$

Zoutbalans:

$$\rho_{\text{brak}} \cdot S_{\text{brak}} \cdot V_{\text{kolk}} = \rho_{\text{zoet}} \cdot S_{\text{zoet}} \cdot V_{\text{zoet}} + \rho_{\text{zout}} \cdot S_{\text{zout}} \cdot V_{\text{zout}} \quad (4)$$

Uitgaande van deze drie eenvoudige vergelijkingen zijn de onbekenden V_{zoet} en V_{zout} direkt te bepalen. Hierbij moet worden opgemerkt dat het volume van de sluis kolk (V_{kolk}) niet voor iedere proef konstant was, daar het waterniveau in de kolk na afloop van de proef een weinig varieerde. Het zoetverlies is nu per definitie (zie par. 3.3) gelijkgesteld aan het in de kolk aanwezige zoete water (V_{kolk}) na het beëindigen van de proef. Het zoutverlies kan worden bepaald door een zoutwaterbalans op te stellen. Het zoutwaterverlies ($V_{\text{zoutverlies}}$) is gelijk aan het kolkvolume voor de proef (V_{kolk} , voor proef) verminderd met de hoeveelheid zout water in de kolk na beëindiging van de proef (V_{zout}) en tevens verminderd met de hoeveelheid zout water die in de zoutbak is gebracht (V_{zoutbak}), ofwel:

$$V_{\text{zoutverlies}} = V_{\text{kolk, voor proef}} - V_{\text{zout}} - V_{\text{zoutbak}} \quad (5)$$

Dit is schematisch weer te geven door de in figuur 3.9 gearceerde volumina als volgt te sommeren.

Het zoutverlies en zoetverlies zijn in eerste instantie uitgedrukt (in liters model (zie tabel I t/m III).

Bij aanwezigheid van schepen zijn de grootheden uitgedrukt in percentage van het uitwisselvolume zonder schepen (zie definitie par. 3.3).

3.5 Nauwkeurigheid van de resultaten van het onderzoek

De berekeningswijze van het zout- en zoetverlies zoals aangegeven in paragraaf 3.4 is in de tweede fase van het onderzoek geïntroduceerd. In eerste instantie is de berekening uitgevoerd met behulp van de volume- en massabalans (vgl. 2 en 3). Dit had tot gevolg dat in de berekening twee relatief grote getallen van elkaar afgetrokken moesten worden, hetgeen in de resultaten tot een mogelijke fout van enige liters leidde.

Door toevoeging van de zoutbalans (vgl. 4) wordt een vergelijking verkregen die, ondanks het feit dat drie extra grootheden worden geïntroduceerd, een aanzienlijk grotere nauwkeurigheid heeft.

De resultaten zoals vermeld in de tabellen I t/m III zijn bepaald met (5) en zijn afgerond in liters model. De totale fout in het zout/zoetverlies bedraagt circa 1 liter. Dit komt overeen met circa 4^o/oo van het volume (tot afsluitbare plaat) ofwel circa 6^o/oo op het kolkvolume (NAP -6,25 m).

Bij proeven met schepen treedt met betrekking tot het zoutverlies een geringe afwijking ten opzichte van de gemeten waarden op.

Dit wordt veroorzaakt door verschil in opdrijvend vermogen bij het begin en eind van de proef. Het schip steekt bij het begin van de proef in zout water. Aan het einde van de proef (bij terugwinnen tot ca. onderkant schip) is het mogelijk dat het schip zich in zoetmilieu bevindt.

Hierdoor steekt het schip bij $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ circa 2% dieper, hetgeen op het model overeenkomt met een extra waterverplaatsing van circa 1 liter.

In de modelresultaten komt deze waterverplaatsing direkt als een geringer zoutverlies terug (zie par. 3.4 $\rightarrow V_{\text{kolk}}$ einde proef kleiner dan V_{kolk} begin proef).

4 Resultaten onderzoek

4.1 Algemeen

Het onderzoek is in twee fasen uitgevoerd. In de eerste fase van het onderzoek is met name de kolkwand met niveauschuif onderzocht, terwijl in de tweede fase de kolkwand met afdichtende regelschuif is onderzocht. Het feit dat het inzicht bij de eerste fase van het onderzoek minder ontwikkeld was dan in de tweede fase heeft ertoe geleid dat het onderzoek naar de kolkwand met niveauschuif volgens de laatste inzichten minder optimaal is uitgevoerd. Dit heeft de konsekwentie dat een kwantitatieve vergelijking tussen beide alternatieven minder goed mogelijk is.

In paragraaf 4.2 wordt allereerst ingegaan op enige verschijnselen die optreden tijdens het uitwisselproces. In paragraaf 4.3 en 4.4 worden voor het tweezijdig uitwisselen respectievelijk de proeven met de kolkwand met niveauschuif en kolkwand met afdichtende regelschuif behandeld.

In paragraaf 4.4.9 wordt voor de kolkwand met afdichtende regelschuif ingegaan op het eenzijdig uitwisselen.

Tot slot is in paragraaf 4.5 een vergelijking gemaakt tussen voorliggend onderzoek voor een 12 m brede sluiskolk en 24 m brede sluiskolk [2]. Deze vergelijking heeft slechts plaatsgevonden voor de kolkwand met afdichtende regelschuif.

4.2 Uitdetailering van enige fysische verschijnselen die optreden tijdens het uitwisselproces

De kwaliteit van het zout/zoetscheidingssysteem wordt bepaald door de mengprocessen in de verschillende fasen van de schutcyclus.

Menging heeft tot gevolg dat de grenslaag dikker wordt ofwel dat de scherpte van de dichtheidsvertikaal afneemt. Bij een dikkere grenslaag zal de hoeveelheid zout water die zich bij gelijke ligging van het theoretisch grensvlak (zie par. 3.3) boven dit vlak bevindt toenemen, waardoor het zoutverlies zowel in situaties zonder opwaarts uitwisselen (zoutverlies via deuren in het zoete sluishoofd) als in situaties met opwaarts uitwisselen (zoutverlies via kolkwandriolen) zal toenemen.

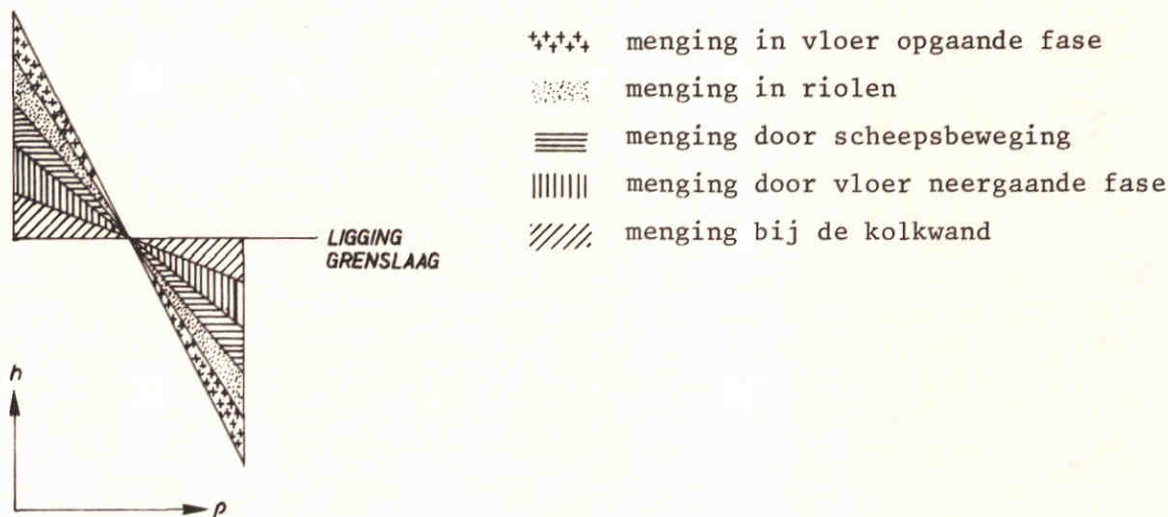
De mengprocessen die in het prototype moeten worden verwacht zijn onder te

verdelen in vier groepen:

- a. menging in kolkwand, tussen schip en kolkwand en onder schip; met andere woorden, de hoeveelheid water die is gemengd voordat dichtheidsvertikaal door vloer wordt getrokken
- b. menging tengevolge van het door de vloer trekken van de grenslaag
- c. menging onder de vloer en in de riolen.
- d. menging door varende schepen.

Hierboven is reeds aangegeven dat als maat voor de menging genomen zou kunnen worden de hoeveelheid zout water die zich boven het grensvlak bevindt.

Indien geen menging optreedt is deze hoeveelheid nul. Schematisch kan de toename van de menging in de schutcyclus als volgt weergegeven worden:



Figuur 4-1: Verschillende oorzaken van menging

De resultaten van voorliggend onderzoek hebben slechts betrekking op de onder punt a. genoemde mengprocessen.

Het begin van de neerwaartse uitwisselfase is in belangrijke mate bepalend voor de kwaliteit van het zoutbestrijdingssysteem. Het is mogelijk met een dimensieloze grootte, het intern Froudegetal, meer inzicht in de invloed van de verschillende variabelen te krijgen.

Het intern Froudegetal [16] kan voor een willekeurige doorsnede worden beschreven als

$$Fr_i = \frac{v_o}{\sqrt{\epsilon.g.D}} \quad (6)$$

waarin Fr_i = intern Froudegetal

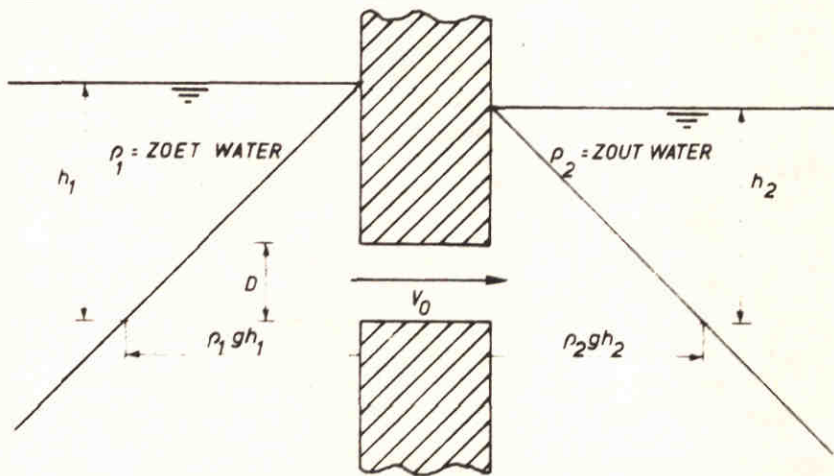
v_o = gemiddelde representatieve stroomsnelheid

$\epsilon = \frac{\Delta\rho}{\rho}$ relatieve dichtheid als kottiënt van de maatgevende dichtheid

D = representatieve hoogte

g = zwaartekrachtsversnelling.

Wordt uitgegaan van hydrostatische drukverdeling en wordt verondersteld dat de druk ter hoogte van de onderzijde van de in onderstaande schets weergegeven spleethoogte D links en rechts gelijk is,



Figuur 4-2: Schematische weergave van de drukverdeling over het kolkwandriool

dan geldt:

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \quad (7)$$

waarin h_1 = waterstand boven onderzijde spleet in zoete water

h_2 = waterstand boven onderzijde spleet op zoute pand

ρ_1 = dichtheid zoete water

ρ_2 = dichtheid zoute water.

Voor een potentiaalstroming (energiehoogte konstant) is dan de snelheid door de spleet D gelijk aan:

$$v_o = \sqrt{\frac{2\Delta p_{gem}}{\rho_1}} \quad (8)$$

Het gemiddelde drukverschil (Δp_{gem}) over de spleet is gelijk aan

$$\Delta p_{\text{gem}} = \frac{1}{2} D g (\rho_2 - \rho_1) \quad (9)$$

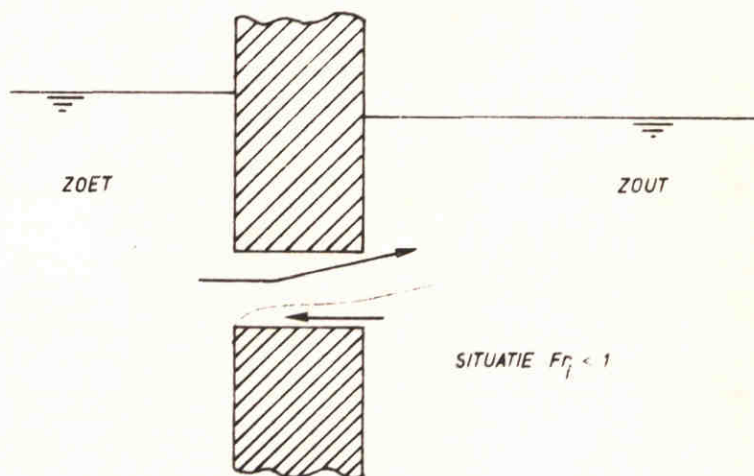
zodat bij $\rho_2 - \rho_1 = \Delta \rho$ (8) overgaat in

$$v_o = \sqrt{\frac{\Delta \rho}{\rho_1} \cdot g D} \quad (10)$$

De situatie dat het drukevenwicht ter hoogte van de onderzijde van de spleet aanwezig is kan gezien worden als een kritische situatie. Bevindt dit punt zich iets hoger in de vertikaal dan zal, ten gevolge van het drukverschil, zout water tegen de zoete stroom in naar het zoete water willen stromen. Het is om deze reden dat de hierboven geschetste situatie, waarbij juist drukevenwicht heerst aan de onderzijde van de spleet, met kritische stroomsituatie wordt aangeduid. Het intern Froudegetal bedraagt dan zoals volgt uit vergelijking (10) juist één.

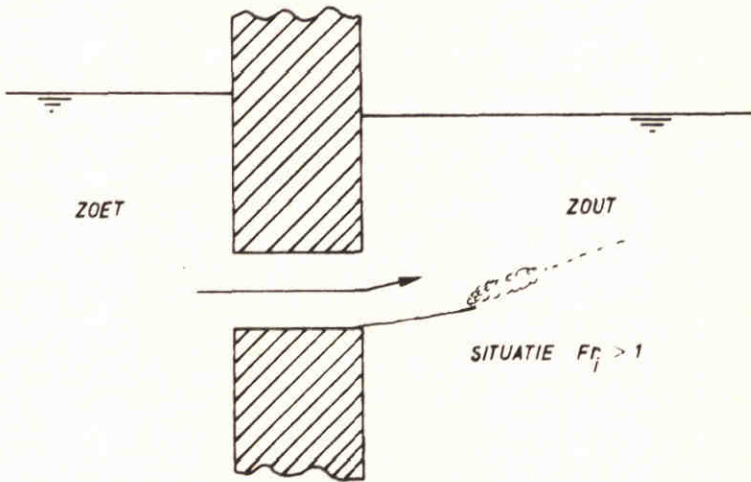
De situatie dat zout water tegen de zoete stroom in naar het omarmende zoete water stroomt wordt subkritische stroming genoemd.

Het intern Froudegetal is dan kleiner dan één ($Fr_i < 1$).



Figuur 4-3: Subkritische stroming in het kolkwandriool

Bij deze situatie wordt ook wel van kortsluitstroming gesproken. Wordt het intern Froudegetal groter dan één dan wordt de stroming superkritisch. Dit wil zeggen dat ter plaatse van de verstoring "schietsend" water ontstaat, hetgeen een interne watersprong tot gevolg heeft. Door de grote hoeveelheid energie die hierbij vrijkomt en de sterke menging die hiervan het gevolg is wordt ook wel gesproken van straalmenging.



Figuur 4-4: Superkritische stroming bij het kolkwandriool

Bovengeschetste theorie verwaarloost de grensvlakwrijving terwijl bovendien wordt uitgegaan van potentiaalstroming. Omdat in de werkelijkheid grensvlakwrijving zeker wel optreedt en in het versnellingsgebied slechts de potentiaalstromingstheorie mag worden toegepast, is het optredende Fr_i -getal groter dan berekend volgens (6). Uitgaande van (6) zal een kortsluitstroming afhankelijk van de vormgeving pas optreden bij $Fr_i = 0,6 \text{ à } 0,8$ [17].

Om de interne watersprong niet te doen optreden, moet voldaan worden aan de eis dat Fr_i in de keeldoorsnede van de gekontraheerde straal kleiner of gelijk is aan één.

Vergelijking (6) moet dan in feite herschreven worden tot

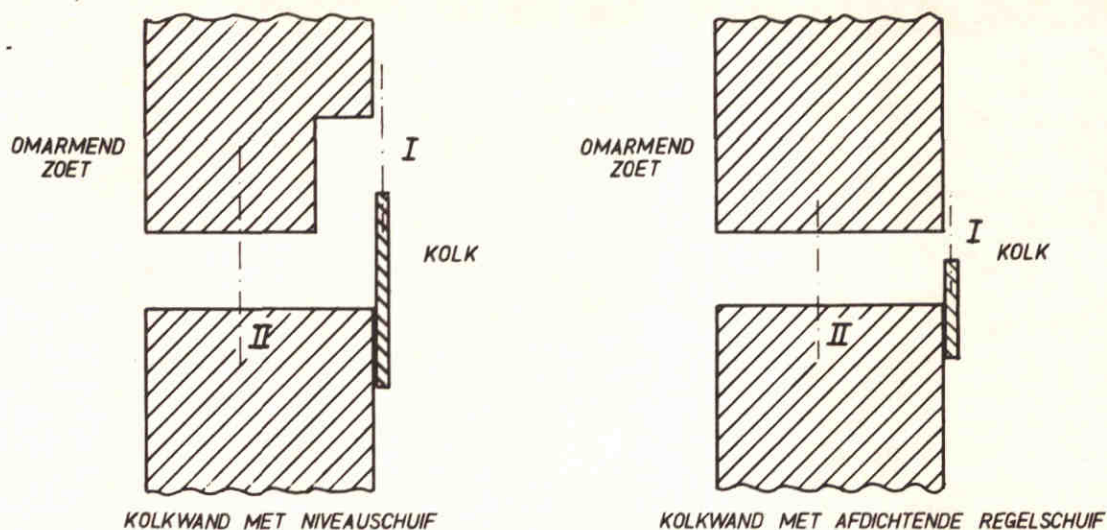
$$Fr_i = \frac{v_0}{\mu \sqrt{\epsilon \cdot g \cdot \mu \cdot D}} \quad (11)$$

Met betrekking tot de kortsluitstroming zijn voor beide alternatieven van de kolkwandvormgeving twee doorsneden aan te wijzen waar een beschouwing met Fr_i is toe te passen.

En wel de doorsnede I respektievelijk boven de niveauschuif en afdichtende regelschuif en in doorsnede II in de keel van het kolkwandriool (zie fig. 4.5).

In principe is er nu een viertal situaties te onderscheiden, te weten:

1. $Fr_i - I > 1$ $Fr_i - II > 1$
eventueel aanwezig zout water in kolkwandriool (bij vormgeving met niveauschuif!) stroomt naar kolk - menging in de kolk



Figuur 4-5: Kolkwanddoorsneden met niveauschuif en met afdichtende regelschuif (zie ook figuur 3 en 4)

2. $Fr_i - I > 1$ $Fr_i - II < 1$

eventueel aanwezig zout water in kolkwandriool (bij vormgeving met niveauschuif!) stroomt naar omarmend zoet - menging in kolk

3. $Fr_i - I < 1$ $Fr_i - II > 1$

menging in kolkwandriool (brak) - geen menging kolk

4. $Fr_i - I < 1$ $Fr_i - II < 1$

kortsluitstroom - geen menging in kolk.

Uit oogpunt van kritische stroming is de beste situatie dat zowel in doorsnede I als in doorsnede II het Fr_i -getal gelijk of ongeveer gelijk aan één is. Zout water kan in principe niet in het kolkwandriool binnendringen terwijl eventueel aanwezige zout water in het kolkwandriool (bij vormgeving met niveauschuif ruimte tussen wandschuif en niveauschuif in het begin van het neerwaarts uitwisselen altijd zout) niet naar het omarmend zoet kan "ontsnappen" en ook niet te sterk met het zoete water wordt gemengd.

Opgemerkt wordt dat de stroomomstandigheden en derhalve de situatie met het Fr_i -getal bij het begin van het neerwaarts uitwisselen voor beide vormgevingen toch sterk verschillend zijn.

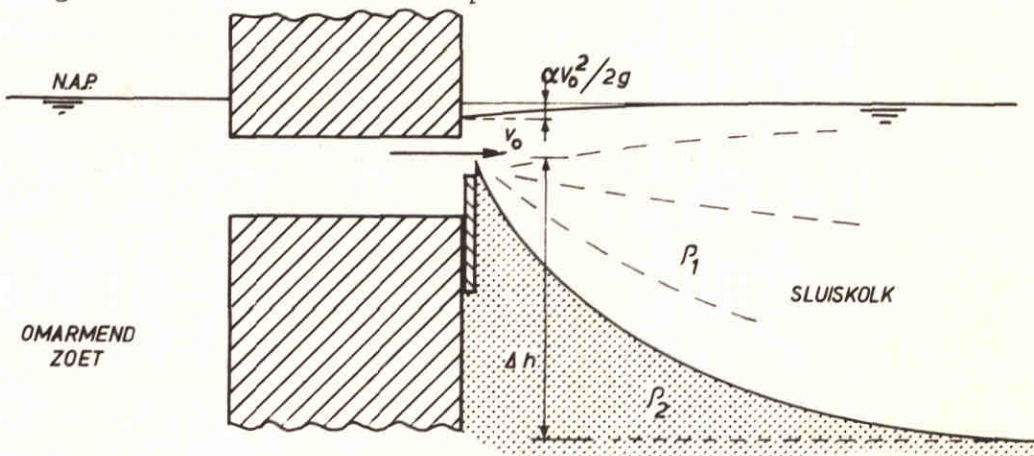
Dit wordt veroorzaakt door de omstandigheid dat bij de vormgeving met niveauschuif vrijwel direct na het begin van het neerwaarts uitwisselen een stationaire stroming ontstaat (wandschuif in ca. 10 s proto getrokken) terwijl bij de vormgeving met de afdichtende regelschuif deze stroming pas na geruime tijd wordt verkregen (afdichtende regelschuif bij snelheid schuif van 0,01 m/s in

ca. 125 s proto geheel geopend). (zie ook paragraaf 3.1)

Op deze facetten zal bij de beschrijving van de betreffende proeven verder op worden ingegaan.

Het intern Froudegetal is van belang in de fase dat het grensvlak zich boven de bovenzijde van de kolkwandschuif bevindt. Is het grensvlak verder teruggetrokken (neerwaarts uitgewisseld) dan vindt volgens bovenstaande theorie, met uitzondering van het mogelijk nog in het kolkwandriool aanwezige zoute water geen menging meer in de direkte omgeving van het kolkwandriool plaats.

Ten gevolge van andere omstandigheden vindt echter nog een direkte menging ter hoogte van het kolkwandriool plaats.



Figuur 4-6: Effect van selectief afzuigen bij het begin van het neerwaarts uitwisselen

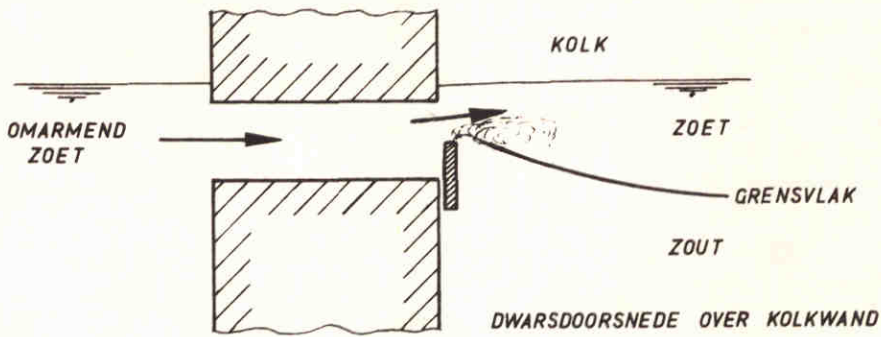
Door het binnenstromen van zoet water in de sluiskolk zal de waterstand in de kolk met de snelheidshoogte dalen $(1-\alpha) v_0^2/2g$, waarbij α afhankelijk is van het vertragsingsverlies).

Indien de onderlaag met een eenparige snelheid vertikaal beweegt, dan zal de plaatselijke verlaging van de waterspiegel gepaard moeten gaan met een plaatselijke aanpassing van de dikte van de onder- en bovenlaag om in het horizontale vlak geen drukverschil te doen ontstaan (zie figuur 4.6).

Deze aanpassing $(\Delta h) = \frac{(1-\alpha) \cdot \rho_1 v_0^2}{\Delta \rho \cdot 2g}$, ofwel bij $\Delta \rho = 20 \text{ kg/m}^3$ ca. $\frac{50(1-\alpha)v_0^2}{2g}$

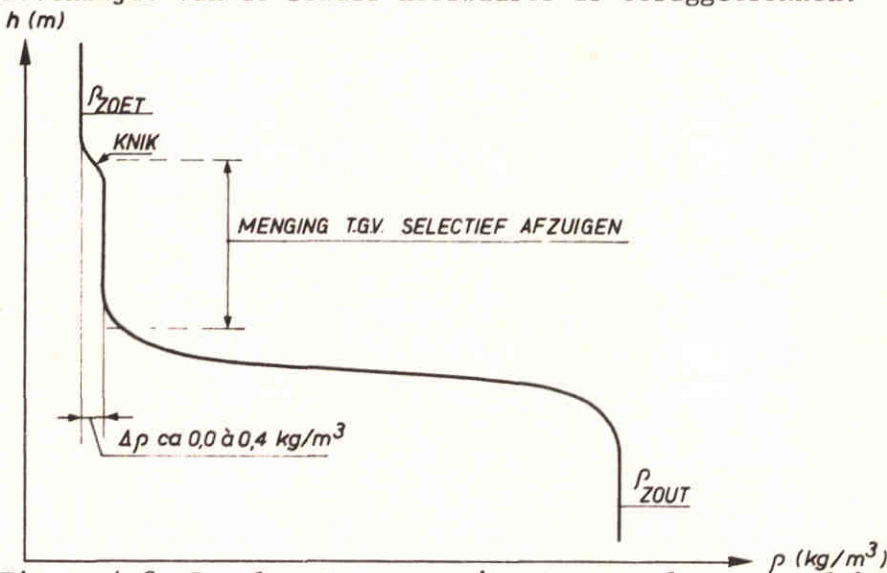
Naarmate de vertragsingsverliezen kleiner zijn, en α derhalve groter, zal dit effect toenemen.

Zout water zal ten gevolge van dit effect nog geruime tijd tot voor het kolkwandriool worden gebracht, waardoor zout water met het binnenstromende zoete water wordt gemengd. (zie figuur 4.7)



Figuur 4-7: Menging ten gevolge van selectief afzuigen bij het begin van het neerwaarts uitwisselen

Deze stroomsituatie, die beschouwd kan worden als een voorbeeld van selectief afzuigen, wordt tot staan gebracht wanneer het grensvlak meer dan Δh onder de bovenzijde van de schuif neerwaarts is teruggetrokken.



Figuur 4-8: Resultaat van menging ten gevolge van selectief afzuigen in de dichtheidsvertikaal

De menging komt tot uitdrukking in een knik in de dichtheidsvertikaal. (zie figuur 4.8)

4.3 Proeven kolkwand met niveauschuif

4.3.1 Algemeen

Zoals reeds in paragraaf 3.1 is gesteld, is in het kader van het onderwerp van het zout/zoetscheidingsysteem voor de Kreekraksluizen een detailonderzoek (schaal 1:30) verricht naar de vormgeving van de kolkwand [8]. Op grond van

bovenstaand onderzoek is de kolkwand met niveauschuif gekozen (zie figuur 3). De keuze van de vormgeving is verricht op grond van een kwalitatieve vergelijking van de dichtheidsvertikalen zoals verkregen na het neerwaarts uitwisselen. Op dit detailmodel van de Kreekraksluizen, waarin eveneens geen geperforeerde vloer aanwezig was, is derhalve afgezien van het opwaarts uitwisselen en is bovendien geen kwantitatief onderzoek naar het zout/zoetverlies verricht. Bij het in dit rapport besproken model was zowel een kwalitatieve als kwantitatieve vergelijking van de proeven mogelijk. Bovendien is op dit model tot een bepaald van te voren gedefinieerd niveau opwaarts uitgewisseld. Als referentie voor alternatieve kolkwandvormgevingen is uitgegaan van de kolkwand met niveauschuif zoals deze voor de Kreekraksluizen is ontworpen.

4.3.2 Invloed stand niveauschuif

Een van de parameters bij de kolkwand met niveauschuif (zie figuur 3) vormt de stand van de niveauschuif. Deze stand is gekoppeld aan de waterstand op het omarmende zoete buitenwater. Deze koppeling is gewenst daar deze variabele gezien de stroomcondities boven de niveauschuif de enige belangrijke grootheid vormt. Uit het Kreekrakonderzoek [8] bleek dat een schuifstand van 0,75 m onder het omarmend zoet de kleinste vervorming van de dichtheidsvertikaal tot gevolg had. Dit is zowel het geval voor een dichtheidsverschil ($\Delta\rho$) van 3 kg/m^3 als 12 kg/m^3 (zie figuur 13 - $\Delta\rho = 3 \text{ kg/m}^3$).

De invloed van de stand van de niveauschuif is voor voorliggend onderzoek bepaald voor $\Delta\rho \approx 20 \text{ kg/m}^3$ en een grensvlaksnelheid van $0,01 \text{ m/s}$.

In figuur 14 is het zoutverlies als functie van de schuifstand weergegeven. In de figuur is bij de proeven tussen haakjes het optredende terugwinniveau weergegeven. Uit de figuur blijkt dat verlaging van de schuifstand het zoutverlies toe doet nemen en wel van ca. 1% van het uitwisselvolume bij een schuifstand van NAP $-0,20 \text{ m}$ tot ca. 5% van het uitwisselvolume bij een schuifstand van NAP $-1,50 \text{ m}$.

Een verklaring van het verloop van het zoutverlies als functie van de schuifstand ligt niet zo voor de hand. Een beschouwing van het optredende Fr_i -getal boven de afdichtende regelschuif leert dat bij schuifstanden lager dan NAP $-0,35 \text{ m}$ de stroming boven de niveauschuif subkritisch wordt ($Fr_i^x < 1$).

x) Opmerking

Bij de berekening van de interne Froudegetallen is aangenomen dat $\mu_{\text{schuif}} = 1$, $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$, geen aangroeiing aanwezig is, en dat het debiet door een kolkwandriool $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ groot is. Voorts wordt verondersteld dat de waterstand in de kolk gelijk is aan die op het omarmend zoet (weerstand kolkwandriool en niveauschuif = 0). Het debiet van $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ is gebaseerd op een grensvlaksnelheid van $0,01 \text{ m/s}$.

Een kortsluitstroom naar het kolkwandriool is bij lagere schuifstanden derhalve mogelijk. Indien het Fr_1 -getal op de kritische doorsnede van het kolkwandriool wordt betrokken dan blijkt deze juist één te zijn zodat een zoutverlies direct naar het omarmend zoet niet mogelijk lijkt. Het grotere zoutverlies bij lagere schuifstanden zou derhalve veroorzaakt moeten worden in de opwaartse uitwisselfase. Bij het opwaarts uitwisselen ontstaat bij een lage schuifstand eerder een zoutverlies dan bij een hogere schuifstand (uitgaande van dezelfde vormdichtheidsvertikaal). Daar de ligging van het grensvlak na het opwaarts uitwisselen (ca. NAP -2,50) nog vrij ver van de bovenkant van de schuif gelegen is, is het zoutverlies dat hierdoor te verwachten is niet van de orde van grootte zoals is gevonden (zie fig. 14). Bij vergelijkbare situaties zoals bij het 24 m brede kolkwandonderzoek [2], en bij de vormgeving met afdichtende regelschuif (zie par. 4.4) is deze toename van het zoutverlies nooit in deze mate opgetreden.

Dit heeft ertoe geleid dat getracht is op een andere wijze het zoutverlies te bepalen. Hiertoe is teruggegrepen op de verwerkingswijze die in het verleden onder andere bij het onderzoek van de Kreekraksluizen is toegepast, dat wil zeggen het planimetreren van de dichtheidsvertikalen na het neerwaarts en opwaarts uitwisselen. Met deze methode is, hoewel globaal, zowel het zoutverlies na het neerwaarts uitwisselen als na het opwaarts uitwisselen te bepalen. In figuur 15 is in een drietal figuren het zoutverlies voor de twee genoemde fasen en het totale zoutverlies na de (model) schutcyclus weergegeven. Tevens is het zoutverlies weergegeven berekend als beschreven in paragraaf 3.4.

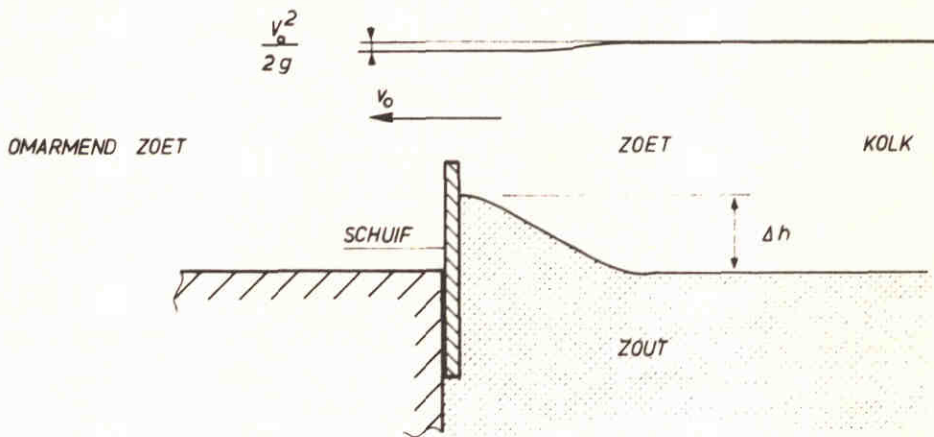
(volgens vgl. (5)). Uit de in figuur 15 weergegeven resultaten is gekonkludeerd dat het zoutverlies toch in de neerwaartse uitwisselfase opgetreden moet zijn. Het intern Froudegetal moet om dit mogelijk te maken toch kleiner dan één geweest zijn.

Een nadere analyse van de op het model gebruikte kolkwandriolen bracht de oplossing. De schematisatie van het kolkwandriool is zodanig (zie fig. 16) dat de kritische doorsnede op het model afwijkt van de ontwerp-tekening. Dit heeft tot gevolg dat het Fr_1 -getal in het kolkwandriool door het toepassen van een verkeerde representatieve hoogte D (zie vgl. (6)) niet circa 1,0 doch circa 0,65 bedraagt. Dit geeft een verklaring voor het optreden van een kortsluitstroom in het begin van de neerwaartse uitwisselfase. Dit aspect maakt de kwantitatieve vergelijking van de verschillende parameters met de kolkwand met afdichtende regelschuif minder relevant. In de volgende beschouwingen zal het accent dan ook voornamelijk gelegd worden op een kwalitatieve vergelijking.

De vorm van de dichtheidsvertikaal bij een stand van de niveauschuif is voor

een stand van NAP -0,20 m het minst scherp (zie fig. 17). De stroming boven de schuif is bij deze schuifstand dan ook superkritisch ($Fr_i \approx 2,5$). Bij lage schuifstanden treedt een verscherping op die door een tweetal omstandigheden kan worden verklaard. Ten eerste zal door de subkritische stroming boven de niveauschuif ($Fr_i < 1$) geen straalmenging meer in de kolk optreden. Ten tweede zal tengevolge van deze optredende subkritische stroming een deel van de mengzone uit de kolk naar het kolkwandriool afstromen en tengevolge van $Fr_{i-kolkwand} < 1$ zelfs gedeeltelijk op het omarmend zoet worden gebracht. Een deel van het naar het kolkwandriool gestroomde zoute water zal met het instromende zoete water worden vermengd, en is hoog in de dichtheidsvertikaal terug te vinden.

Zoals reeds is gesteld wordt het zoutverlies bij het opwaarts uitwisselen bepaald door twee criteria. In de eerste plaats door de scherpste van de dichtheidsvertikaal en in de tweede plaats door het niveau van de bovenzijde van de schuif, ten aanzien van de ligging van de grenslaag na het opwaarts uitwisselen. Opgemerkt wordt dat tijdens het opwaarts uitwisselen eveneens rekening moet worden gehouden met het effect van selectief afzuigen. Tengevolge van de snelheidsverhoging boven de schuif zal de grenslaag plaatselijk weer worden verhoogd (zie fig. 4.9).



Figuur 4-9: Selectief afzuigen bij kolkwandriool tijdens terugwinnen van zoet water.

Een eenduidige uitspraak omtrent de keuze voor de schuifstand is tengevolge van het ontbreken van goede kwantitatieve gegevens niet mogelijk. Op basis van kwalitatieve gegevens is geen voorkeur uit te spreken voor schuifstanden gelegen tussen NAP -0,50 m en NAP -1,50 m.

4.3.3 Invloed schepen

Enige proeven zijn uitgevoerd "met schepen". Hierbij is in de eerste plaats onderzoek verricht met gebruikmaking van een schip met vormgeving "duwbak". (breedte = 11,40 m, diepte = 2,50 m, zie figuur 10). Het zoutverlies dat bij deze proeven is gekonstateerd (zie tabel I) is ten gevolge van de subkritische stroming in het kolkwandriool ($Fr_1 < 1$) weer niet representatief.

De proeven zijn voor drie schuifstanden uitgevoerd (NAP -0,20 m, NAP -0,75 m en NAP -1,50 m), waarbij tevens tot ca. onderkant schip zoet water is terugge-
wonnen.

In figuur 18 zijn dichtheidsvertikalen weergegeven van proeven met en zonder schepen bij een stand van de niveauschuif van NAP -1,50 m.

De dichtheidsvertikalen bij proeven met schepen zijn aanzienlijk scherper dan bij proeven zonder schepen. Hiervoor zijn een tweetal oorzaken aan te geven.

In de eerste plaats zal de grenslaag tussen schip en kolk aanzienlijk sneller zakken dan bij proeven waarbij geen schepen aanwezig zijn. Hierdoor zal de grenslaag slechts gedurende een korte tijd onderhevig zijn aan de grote snelheden boven de niveauschuif. In de tweede plaats zal de nauwe ruimte tussen schip en kolkwand een geleidende en stroomverdelende werking hebben [20].

Hierbij heeft het remmingwerk bovendien een debietverdelende functie.

Verder treedt menging op indien bij het neerwaarts uitwisselen de grenslaag de onderkant van het schip passeert. Het zoete water zal dan onder het schip moeten stromen. Hierbij ontstaat een stroming in dwarsrichting van het schip die extra menging tot gevolg heeft.

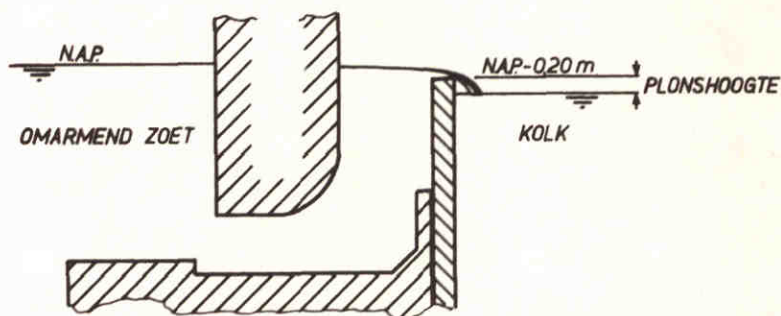
Opgemerkt hierbij wordt dat de tijdsduur waarin een kortsluitstroming met het omarmend zoet op kan treden ten gevolge van snel zakken van de grenslaag in het begin van het neerwaarts uitwisselen bij proeven "met schepen" kleiner is dan bij proeven "zonder schepen". Het opgetreden zoutverlies is hierdoor bij proeven "met schepen" in het algemeen aanzienlijk geringer dan met proeven "zonder schepen" (zie tabel I). Daar rekening gehouden moet worden met schepen van verschillende types, zijn enige proeven uitgevoerd met schepen met een afwijkende vorm (zie figuur 11). De schepen die respectievelijk een driehoekige doorsnede en een doorsnede met bakprofiel hebben, waren 4,50 m op de waterlijn breed en staken 1,50 m diep. De schepen zijn zowel in het midden van de sluiskolk als tegen het remmingwerk geplaatst (symmetrisch/asymmetrisch) (zie tabel I). De tendenzen die uit het onderzoek met "grote schepen" volgen (b = 11,40 m) zijn ook voor de kleine schepen gevonden.

De dichtheidsvertikalen zijn bij kleine schepen scherper dan bij de situatie

zonder schepen (zie figuur 19), doch aanzienlijk minder scherp dan bij de situatie met schepen van 11,40 m breed. De asymmetrische ligging van de "kleine schepen" in de kolk heeft weinig invloed op de vorm van de dichtheidvertikalen.

4.3.4 Invloed plonsen

Bij onderzoek voor de zoute baksluis [19] is naar voren gekomen dat het in sommige situaties gunstig was het zoete water niet in en over het zoute water in de kolk te laten stromen, doch het van een geringe hoogte er op te laten vallen (verder plonsen genoemd). Het idee hierbij was dat ten gevolge van deze zoetwaterindringing in het zoute water minder menging optrad dan bij het over elkaar heen schuiven van twee media van verschillende dichtheid. Nadat via een plons een kleine laag zoet water op het zoute water is gebracht, kan de kolk tot het niveau van het omarmend zoete water worden gevuld (zie figuur 4.10).



Figuur 4-10: Stroming bij het begin van plonsen (\cong begin neerwaarts uitwisselen)

De plonshoogte is gedefinieerd als het hoogteverschil tussen bovenzijde niveauschuif en waterstand in de kolk. Figuur 20 toont enige proeven waarbij de niveauschuif op NAP -0,20 m was geplaatst. Als referentie is de situatie gegeven waarbij de wandschuif werd geopend bij gelijk water in de kolk en omarmend zoet en de situatie bij plons = 0 (waterstand kolk \cong niveau bovenzijde schuif \cong NAP -0,20 m). Een plons 0,40 m (waterstand bij openen wandschuif in kolk NAP -0,60 m) veroorzaakt een toename van het zoutverlies van meer dan 10% van het kolkvolume. Bij het vergelijken van de dichtheidsvertikalen in figuur 21 van de situatie zonder plons en de situatie met een plonshoogte van 0,40 m, valt te konstaten dat deze toename uit vorm van de dichtheidsvertikaal is te verklaren.

In hoeverre deze vorm wordt veroorzaakt door het "plonsen" op zich is niet geheel duidelijk. Bij de plonsproeven voor de zoute baksluis kwam uit visuele waarnemingen duidelijk naar voren dat het positieve resultaat voornamelijk werd ver-

oorzaakt door het "terugstoten" [19] van het instromende zoete water op de bodem van de kolk. Daar de geperforeerde bodem in dit model niet is weergegeven treden hier modelafwijkingen op. Een vertikaal gerichte zoete stroom kan nu, hoewel vertraagd door het dichtheidsverschil, met een bepaalde snelheid het bodemniveau (NAP -6,25 m) passeren en zelfs, via het grindpakket onder in het model, de kolk verlaten.

Dat deze laatste situatie zich op het model heeft voorgedaan, is te zien uit de grillige vorm van de dichtheidsvertikaal. Zelfs aan het eind van het opwaartse terugwinnen bevindt zich nog zoet water in het grindpakket.

4.3.5 Eenzijdig uitwisselen

Bij het ontwerp van de Jachtensluis in de Philipsdam is de vraag naar voren gekomen of het hydraulisch gezien aanvaardbaar is slechts één kolkwand zodanig uit te voeren dat via deze wand uitgewisseld kan worden.

Dit systeem wordt in het hiervolgende het éénzijdig uitwisselen genoemd.

In het tijdschema bleek het in de eerste fase van het onderzoek mogelijk enige proeven met uitwisseling via één kolkwand voor de kolkwand met niveauschuif uit te voeren (zie tab. I).

De resultaten tonen aan dat het eenzijdig uitwisselen in eerste instantie zeker niet onmogelijk moet worden geacht. De vorm van de dichtheidsvertikalen is voor beide doorgemeten schuifstanden (NAP -0,75 m en NAP -1,50 m) slechts weinig minder scherp (zie fig. 22 en 23).

Voor situaties waarin geen zoet water wordt teruggewonnen (zoals bij de Jachtensluis) is, door iets verder neerwaarts uit te wisselen, met betrekking tot het zoutverlies een gelijk resultaat te verkrijgen.

Kwantitatief blijkt het systeem van eenzijdig uitwisselen zelfs beter te voldoen dan het tweezijdig uitwisselen. Achteraf is dit te verklaren door de omstandigheid dat de snelheid in het kolkwandriool nu superkritisch is ($Fr_1 \approx 1,3$). Kortsluitstroming in de neerwaartse uitwisselfase kan dus niet plaatsvinden, hetgeen het aanzienlijk kleinere zoutverlies verklaart (zie tab. I). Op grond van deze summere gegevens is in het voorjaar van 1977 gekozen voor het systeem van eenzijdig uitwisselen voor de Jachtensluis van de Philipsdam. In het aanvullend onderzoek van de kolkwand met afdichtende regelschuif is een uitgebreider meetprogramma voor dit alternatief uitgevoerd (zie par. 4.4.9).

4.4 Proeven met kolkwand met afdichtende regelschuif

4.4.1 Algemeen

Het onderzoek naar de vormgeving van de kolkwand voor een 12 m brede sluiskolk is eind 1976 in verband met het onderzoek voor de 24 m brede sluiskolk vroegtijdig afgerond.

In het derde kwartaal van 1977 is het onderzoek voor de 12 m brede sluiskolk weer opgenomen. Paragraaf 4.4 beschrijft het onderzoek zoals dit in de tweede fase (3e kwartaal 1977) is uitgevoerd. Voor de indeling van de proeven wordt verwezen naar paragraaf 3.2 en tabel II en III.

Zoals reeds in paragraaf 3.1 is beschreven wordt de regelschuif getrokken wanneer de waterstand in de kolk gelijk wordt aan de waterstand van het omarmend zoete water.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de schuifbeweging met de hand is uitgevoerd. Dit heeft tot gevolg dat het schuifprogramma (zowel schuifsnelheid als begin van schuifbeweging) niet altijd is uitgevoerd zoals dit gewenst was. Daar de schuifbeweging is vastgelegd (zie als voorbeeld figuur 24 tot en met 26) kan een indruk worden verkregen onder welke omstandigheden de proef heeft plaatsgevonden. Bij vergelijking van de resultaten van de proeven is bij niet al te grote afwijking tussen gewenst en uitgevoerd schuifprogramma uitgegaan van de gewenste schuifbewegingen.

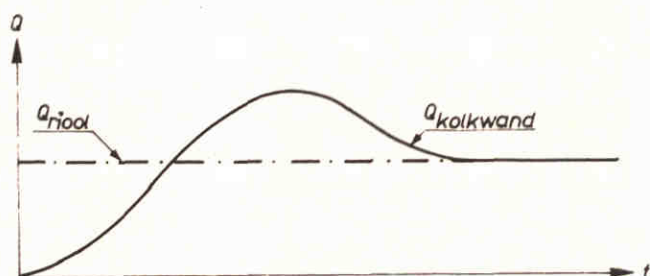
4.4.2 Invloed eindstand afdichtende regelschuif

De schuifbeweging (zie paragraaf 3.1) is afhankelijk van de proef gestopt bij NAP -0,70 m, NAP -1,00 m en NAP -1,50 m (zie figuur 4). Boven de schuif is dan een doorstroomhoogte van respectievelijk 0,20, 0,50 en 1,00 m aanwezig.

Zowel de schuifsnelheid als de grensvlaksnelheid bedroegen bij deze proeven 0,01 m/s terwijl het dichtheidsverschil ca. 20 kg/m³ was.

Zoals reeds in paragraaf 3.1 is gesteld is de stroomsituatie bij het begin van het neerwaarts uitwisselen bij de kolkwand met afdichtende regelschuif sterk afwijkend van die bij de kolkwand met niveauschuif. Bij de kolkwand met niveauschuif wordt in een kort tijdsbestek een stationaire stroomsituatie (verval over kolkwand konstant) ingesteld. Bij de kolkwand met afdichtende regelschuif is tijdelijk het debiet door de kolkwanden aanzienlijk kleiner dan het uitwisseldebiet. Hierdoor is de waterstand in de kolk niet konstant (zie fig. 24 t/m 26).

Het debietverloop als functie van de tijd van de kolkwandriool, dat hiervan het gevolg is, is figuur 4.11 geschetst.



Figuur 4-11: Debiet door het kolkwandriool als functie van de tijd bij het begin van het neerwaarts uitwisselen

Het tijdstip waarop het kolkwanddebiet gelijk wordt aan het riooldebiet bedraagt bij genoemde schuif- en grensvlaksnelheid van 0,01 m/s circa 60 à 70 seconden na het begin van het neerwaarts uitwisselen ($\hat{=}$ begin schuifbeweging). De afdichtende regelschuif is dan circa 0,40 m geopend, hetgeen inhoudt dat de stroming boven de schuif juist subkritisch wordt (bij berekening Fr_i volgens aannamen zoals gesteld in par. 4.3.2). Wordt de schuif met een snelheid van 0,01 m/s tot bijvoorbeeld NAP -1,00 m of NAP -1,50 m geopend (schuifopening resp. 0,50 en 1,00) dan kan een kortsluitstroming naar het kolkwandriool optreden en bij subkritische stroming in het kolkwandriool zelf een directe zoutbelasting op het omarmende zoete water ontstaan. Bij de schuifstanden van NAP -1,00 m en NAP -1,50 m wordt de stroomsituatie in het kolkwandriool derhalve belangrijk. In de eerste fase van het onderzoek (vierde kwartaal 1976) is dit niet onderkend. Het idee was juist door vergroting van de kolkwandperforatie de zout/zoetkwaliteit van de sluis te verbeteren [4].

De doorsnede van het kolkwandriool werd ten opzichte van het alternatief met niveauschuif vergroot van $0,60 \times 1,50 \text{ m}^2$ naar $1,00 \times 2,25 \text{ m}^2$. Dit heeft tot gevolg dat het intern Froudegetal voor gestelde randvoorwaarden $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ en $v_{gr} = 0,01 \text{ m/s}$ van circa 1,0 tot circa 0,35 is afgenomen. Bij schuifstanden van NAP -1,00 m en NAP -1,50 m zijn derhalve grote zoutverliezen tot meer dan 10% van het uitwisselvolume opgetreden die in eerste instantie niet verklaard konden worden en uiteindelijk tot de beschouwing met Fr_i hebben geleid. Bij het onderzoek in de tweede fase (derde kwartaal 1977) is de doorsnede van het kolkwandriool verkleind tot $0,80 \times 1,00 \text{ m}^2$ (zie fig. 30). Het Fr_i -kolkwandriool bedraagt bij $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ en $v_{gr} = 0,01 \text{ m/s}$ circa één. Figuur 31 toont het zoutverlies bij genoemde kolkwandconfiguratie voor verschillende standen

van de afdichtende regelschuif onder andere bij proeven waarbij geen schepen in de kolk aanwezig waren (proeven "zonder schepen"). De invloed van schepen wordt in paragraaf 4.4.3 besproken.

Het zoutverlies blijft bij de onderzochte schuifstanden indien wordt teruggevoerd tot NAP -2,50 m steeds ongeveer gelijk aan 1% van het uitwisselvolume. Het verloop van de dichtheidsvertikalen is voor genoemde proeven weergegeven in figuur 32. Bij het begin van het neerwaarts uitwisselen zijn de proefomstandigheden nog afhankelijk van de stand waarbij de schuifbeweging gestaakt zal worden. Met andere woorden, het "zoute gedeelte van de mengzone" (zie voor definitie par. 3.3), die voornamelijk het gevolg is van menging bij het begin van het neerwaarts uitwisselen zal voor de drie uiteindelijke schuifstanden weinig verschillen (zie fig. 32).

Hoewel de vorm van de dichtheidsvertikalen ook in het zoete gedeelte van de mengzone niet veel verschilt, is het mengproces bij de drie schuifstanden niet gelijk.

Bij de schuifstand van NAP -0,70 m is de stroming boven de schuif superkritisch ($Fr_i \approx 2,5$) hetgeen straalmenging in de kolk tot gevolg heeft.

Bij de schuifstanden van NAP -1,00 m en NAP -1,50 m is de stroming boven de afdichtende regelschuif subkritisch (Fr_i resp. 0,6 en 0,2). Daar de stroming in het kolkwandriool superkritisch is, treedt menging in de kolkwandriolen op (visueel op model gekonstateerd), waarna het zoute water met het zoete water naar de kolk wordt teruggevoerd.

Bovengenoemde hoeveelheid zout water wordt derhalve na het passeren van het grensvlak van de bodem van het kolkwandriool in de sluiskolk gebracht en dit verklaart samen met het effect van selektief afzuigen het aanwezig zijn van zout water relatief hoog in de dichtheidsvertikaal.

Uit filmopname en geleidendheidsmeting in het kolkwandriool is gebleken dat bij een eindstand van de schuif van NAP -1,50 m tot circa 190 s na het begin van neerwaarts uitwisselen zout water in het kolkwandriool wordt gekonstateerd.

Figuur 33 geeft voor een proef met een stand van de afdichtende regelschuif van NAP -1,50 m een registratie voor zowel de meetcel op de bodem van het kolkwandriool (ca. NAP -1,50 m) als van een opnemer die tijdelijk op een niveau van NAP -2,00 m tussen de kolkwand en het remmingwerk in de kolk was aangebracht.

Figuur 34 geeft de dichtheid als functie van de tijd (zoals gemeten in het kolkwandriool en in de kolk op NAP -2,00 m) bij een stand van de afdichtende regelschuif van NAP -0,70 m tijdens het opwaarts uitwisselen.

Een gering zoutverlies moet gezien deze registratie tijdens het opwaarts uitwisselen opgetreden zijn. Uit de meting bleek het zoutverlies circa 1% van het uitwisselvolume te bedragen (zie tab. II).

Naast de scherpte van de dichtheidsvertikaal wordt het zoutverlies vanzelfsprekend ook bepaald door het niveau waarop de bovenzijde van de schuif zich bevindt (zie ook par. 4.3.2).

Bij een hoge schuifstand moet de grenslaag een grotere weg afleggen alvorens het kan afstromen naar het kolkwandriool. Opgemerkt moet echter worden dat het effect van selectief afzuigen een grens stelt aan de hoogte van de schuif bij het opwaarts uitwisselen.

Om de schuif bij het opwaarts uitwisselen toch in een zo hoog mogelijke positie te kunnen plaatsen, is bij het ontwerp van de vormgeving van de kolkwand het kolkwandriool ter plaatse van de kolk van NAP -0,50 m tot NAP verhoogd.

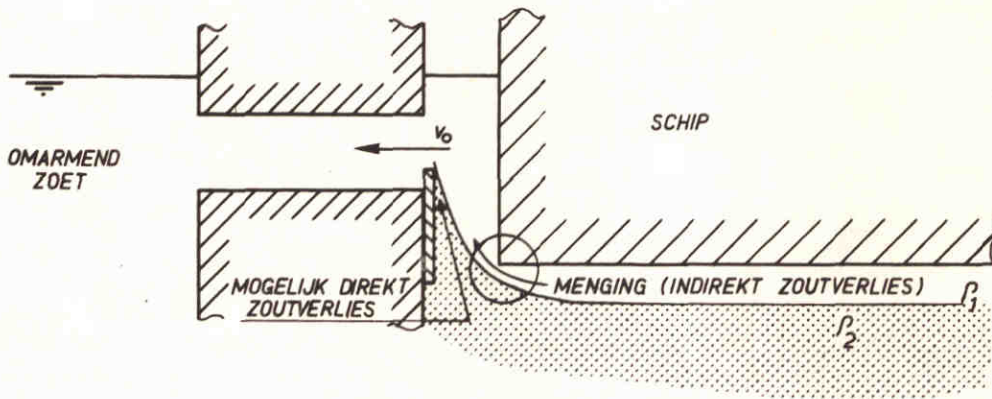
Gezien het zoutverlies (fig. 31) en de vormgeving van de dichtheidsvertikalen (fig. 32) is geen duidelijke voorkeur uit te spreken voor een bepaalde eindstand van de afdichtende regelschuif. Door programmering van de afdichtende regelschuif (zie ook par. 4.4.6) en debietprogrammering (zie ook par. 4.4.7) is het wellicht te voorkomen dat bij het neerwaarts uitwisselen zout water in het kolkwandriool stroomt waardoor de scherpte van de dichtheidsvertikalen bij grotere schuifopeningen (NAP -1,00 m en NAP -1,50 m) wellicht toe kan nemen. Bij grotere schuifopeningen zal tengevolge van de kleinere watersnelheden tevens het effect van selectief afzuigen kleiner zijn.

4.4.3 Invloed schepen

De invloed van schepen (breedte 11,40 m, diepte 2,50 m) is eveneens bij een drietal eindstanden van de afdichtende regelschuif bekeken (NAP -0,70 m, NAP 1,00 m en NAP -1,50 m). De scherpte van de dichtheidsvertikalen bij proeven met schepen is na het neerwaarts uitwisselen ook voor de kolkwand met afdichtende regelschuif groter dan bij proeven zonder schepen (zie fig. 35 en 36 resp. schuifstanden NAP -0,70 m en NAP -1,50 m). Naast de reeds bij de kolkwand met niveauschuif genoemde voordelen (zie par. 4.3.3) van debietverdeling en snel wegtrekken van het grensvlak uit de verstoringzone in de omgeving van de bovenzijde van de schuif, speelt bij deze vormgeving ook nog het geleidelijk opbrengen van het zoete water op het zoute kolkwater een rol (zie par. 4.4.2). Bij vergelijking van de dichtheidsvertikalen van de proeven met schepen in figuur 37 is te zien dat de scherpte van de dichtheidsvertikaal na het neerwaarts uitwisselen, in het zoute gedeelte van de mengzone weer onafhankelijk is van de eindstand van de afdichtende regelschuif.

Het zoutverlies van bovengenoemde proeven, waarbij telkermale is teruggewonnen tot ca. NAP -2,50 m is weergegeven in figuur 31. De invloed van de menging bij hogere standen van de afdichtende regelschuif zoals deze in figuur 36 valt te konstateren wordt in het zoutverlies teruggevonden. De zoutwaterbelasting bedraagt echter bij geen van de uitgevoerde proeven meer dan ca. 1% van het uitwisselvolume.

Gesteld moet worden dat het zoutverlies bij terugwinnen van zoet water tot onderkant schip moeilijk voorspelbaar is. Dit kan worden ingezien indien de stroomsituatie wordt beschouwd die ontstaat wanneer zoet water wordt teruggewonnen (zie figuur 4.12).



Figuur 4-12: Mengzone bij schip tijdens het opwaarts uitwisselen

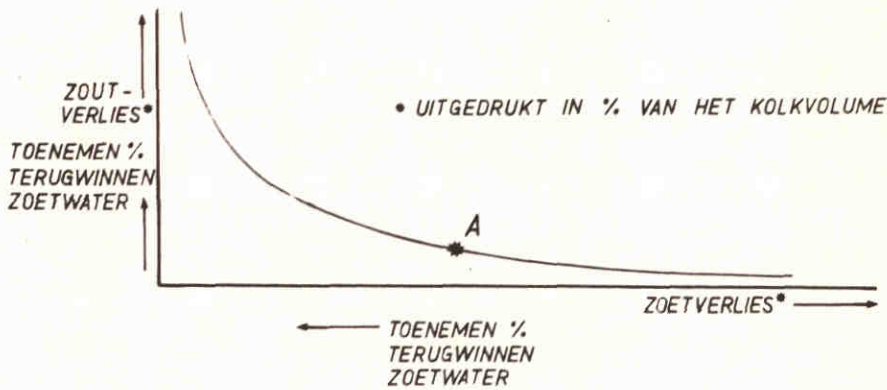
Ten gevolge van selectief afzuigen wordt de grenslaag plaatselijk verhoogd. Dit zal juist plaatsvinden in de nauwe ruimte tussen kolkwand en schip (zie figuur 4.12). Dit kan leiden tot een direct zoutverlies. Ook is het mogelijk dat ten gevolge van menging in een latere fase van het opwaarts uitwisselen een groter zoutverlies optreedt (indirekt zoutverlies).

Een en ander heeft tot gevolg dat de spreiding van de proefresultaten bij het opwaarts uitwisselen tot onderkant schip toe zal nemen. Zeker indien men bedenkt dat nog invloedsgrootheden als interne golven en een toevallig optredende asymmetrische ligging van het schip in de kolk invloed kunnen uitoefenen [4].

4.4.4 Zoutverlies als funktie van het zoetverlies

Indien geen zoet water wordt teruggewonnen (d.w.z. de opwaarts uitwisselfase wordt in de schutcyclus niet uitgevoerd) en er vindt in de neerwaarts uitwisselfase geen zoutbelasting via de kolkwandriolen op het omarmend zoete water

plaats, dan zal het zoutwaterverlies op het model nul moeten zijn. Door zoet water terug te winnen neemt door het feit dat zout water met zoet water is vermengd, het zoutwaterverlies dat via de kolkwandriolen optreedt, toe. Deze relatie is in figuur 4.13 weergegeven.



Figuur 4-13: Verloop van een zout/zoetverlieskromme

Indien weinig zoet water wordt teruggewonnen is naar verwachting de gradiënt van het zoutverlies als functie van het zoetverlies nog klein. Met andere woorden, door een geringe toename van het zoutverlies te aanvaarden kan een aanzienlijke reductie van het zoetverlies worden verkregen.

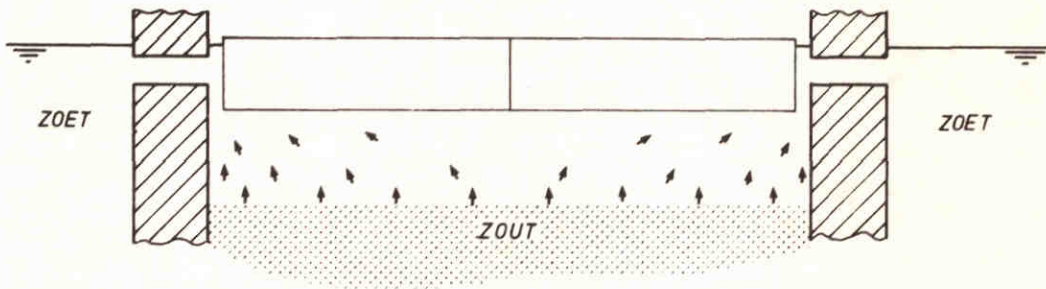
In het algemeen is bij voorliggend onderzoek teruggewonnen tot het theoretisch grensvlak het niveau van "de onderkant van het schip" (NAP -2,50 m) had bereikt. Indien dit niveau werd bereikt, werd het uitwisseldebiet abrupt gestaakt ($dQ/dt = \infty$!). In eerste instantie is een aantal proeven uitgevoerd waarbij iets minder ver zoet water werd teruggewonnen (NAP -4,50 m en NAP -3,50 m). Het zoetwaterverlies bij proeven zonder schepen waarbij opwaarts is uitgewisseld tot NAP -2,50 m, bedraagt nog circa 40% van het uitwisselvolume. Dit is ten opzichte van het zoetverlies bij andere sluystypen met zout/zoetscheidingssystemen (Zoute-baksluis en Liftsluis [10]) nog aanzienlijk. In aanvullend onderzoek is meer zoet water teruggewonnen waarbij als extreem tot bovenkant van de afdichtende regelschuif is uitgewisseld.

In figuur 38 is het zoutverlies als functie van het zoetverlies uitgezet voor de schuifstand van NAP -1,00 m. Tussen haakjes zijn weer de theoretisch optredende terugwinniveaus uitgezet.

De verwachte vorm van de zout/zoetverlieskromme (zie fig. 4.13) wordt redelijk benaderd. Tevens kan uit deze figuur worden gekonkludeerd dat bij de proefresultaten met een nulpuntverschuiving in het zoutverlies van circa 0,5 l rekening moet worden gehouden. Dit kan worden gesteld daar in neerwaartse uitwisselfase geen zoutwaterbelasting via de kolkwandriolen op het omarmend zoete water heeft plaatsgevonden (registratie in kolkwandriool).

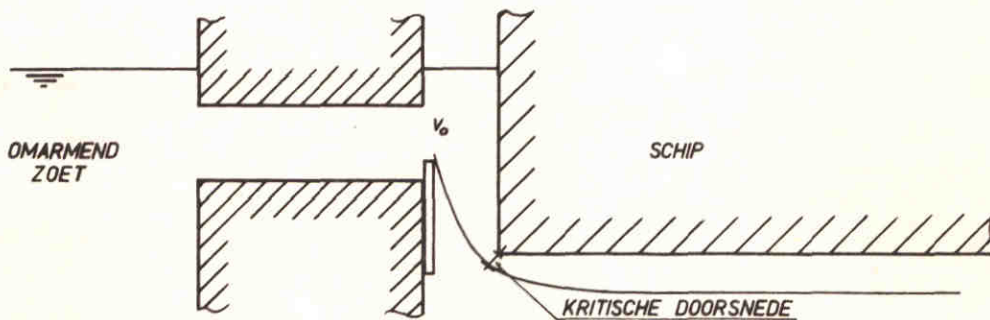
Bij proeven zonder schepen begint het zoutverlies toe te nemen indien wordt teruggewonnen hoger dan NAP -2,00 m. Bij terugwinnen tot NAP -1,00 m (theoretisch optredend terugwinniveau NAP -1,19 m) stijgt het zoutverlies tot ca. 3% van het uitwisselvolumen, terwijl het zoetverlies tot ca. 20% wordt gereduceerd. Bij proeven met schepen is het zoetverlies bij gelijk terugwinniveau ca. 30% minder dan bij proeven zonder schepen (volumen schip ca. 47,5 l \cong ca. 30% uitwisselvolumen). Indien hoger wordt teruggewonnen dan NAP 3,00 m (0,50 m onder bodem van het schip) begint het zoutverlies toe te nemen. Wordt opwaarts uitgewisseld tot een niveau hoger dan onderkant schip (NAP -2,50 m) dan neemt het zoetverlies praktisch niet meer af, terwijl het zoutverlies sterk toe gaat nemen. Dit is als volgt in te zien.

In de opwaartse uitwisselfase zal het water dat zich onder het schip bevindt naar weerszijden van het schip afstromen (zie figuur 4.14).



Figuur 4-14: Schematische weergave van het stromen van zoet water bij opwaarts uitwisselen

Indien de grenslaag in de omgeving van de onderzijde van het schip komt zal er een situatie ontstaan waarbij een zogenaamde kritische doorsnede optreedt [14], zie figuur 4.15.



Figuur 4-15: Schematische weergave van kritische stroming onder het schip aan het einde van het opwaarts uitwisselen

Vanaf dat moment stijgt de grenslaag onder het schip minder snel dan aan weerszijden van het schip. Dit heeft tot gevolg dat er zout water naast het schip is voordat het zoete water onder het schip is teruggewonnen. De verticale snelheid van de "grenslaag" tussen schip en kolkwand is bovendien tengevolge van de gereduceerde doorstroomopening zo groot (ca. 0,05 à 0,10 m/s proto) dat deze laag zeer snel de bovenzijde van de schuif bereikt. Dit doet de zoutbelasting snel sterk toenemen. Dat hoger terugwinnen dan NAP -2,50 m in aanwezigheid van schepen minder zinvol is, blijkt uit het meetresultaat bij de proef waarbij getracht is tot NAP -1,50 m terug te winnen (proef 223). Het optredend zoutverlies (ca. 3 l) doet het optredend theoretisch terugwin-niveau weer tot NAP -2,25 m dalen (zie par. 3.3).

In de figuren 39 en 40 zijn de dichtheidsvertikalen weergegeven voor respektievelijk proeven "zonder schepen" en proeven "met schepen".

Bij proeven "zonder schepen" valt bij toenemend terugwinnen van zoet water te konstateren dat het zoete gedeelte van de mengzone van de dichtheidsvertikaal wordt afgeroomd. De grenslaag en de zoute mengzone vervormen weinig tot niet. Dit in tegenstelling met de proeven "met schepen" waarbij duidelijk een vervorming van een groot deel van de vertikaal optreedt.

4.4.5 Proeven met verhoogd en verlaagd omarmend zoet

Het ontwerp van de kolkwand met de niveauschuif was zodanig dat de stand van de niveauschuif was gekoppeld gedacht aan een bepaalde stand onder het omarmend zoete waterpeil.

Bij de keuze voor de afdichtende regelschuif is het aanpassen van de schuifstand aan de stand van het omarmend zoete water als randvoorwaarde komen te vervallen.

Om een inzicht te krijgen in de konsekventies van deze keuze bij afwijkende randvoorwaarden is onderzoek verricht bij een verhoogde (ca. NAP +0,55 m) en een verlaagde (ca. NAP -0,60 m) waterstand op het omarmend zoet.

De keuze van de waterstanden is vrij arbitrair. De waterstand met verlaagd omarmend zoet is zodanig gekozen, dat altijd een vrije waterspiegel in het kolkwandriool optreedt (lager dan de plafondhoogte van het riool NAP -0,50 m). De gebeurtenissen bij het begin van het neerwaarts uitwisselen zijn voor de situaties met verhoogd en verlaagd omarmend zoet enigszins gewijzigd ten opzichte van de situatie bij een omarmende zoetwaterstand van NAP.

Bij de situatie met verhoogd omarmend zoet is dezelfde werkwijze gevolgd als bij een omarmende zoetwaterstand op NAP. De schuif wordt, bij gelijk water over de kolkwand, met een eenparige snelheid, die gelijk is aan de uitwissel-snelheid van het grensvlak (0,01 m/s), getrokken. Bij een verlaagde omarmende

zoetwaterstand kan deze werkwijze niet worden gevolgd. Op het ogenblik dat de bovenkant van de afdichtende regelschuif onder het plafond komt, stroomt namelijk zout water uit de kolk naar het omarmend zoet.

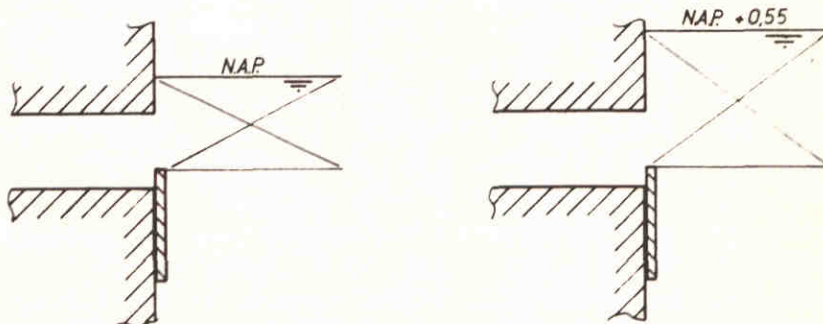
Om dit te voorkomen wordt de schuifbeweging later ingezet en wel op het ogenblik dat het water in de kolk gelijk wordt met de bovenkant van de schuif. Een en ander is zowel voor de situatie met hoog als laag omarmend zoet als voor een situatie met het omarmend zoet op NAP schematisch in drie fasen in figuur 41 weergegeven.

Bij de proeven met verlaagd omarmend zoet bestaat het gevaar dat direkt een zoutverlies optreedt indien het water in de kolk tijdens het trekken van de regelschuif hoger staat dan de kruin van deze schuif. Door eventueel de "wandschuif" in het kolkwandriool te sluiten tot het ogenblik dat gelijk water wordt bereikt kan dit voorkomen worden.

Op het model is dit opgelost door de schuif pas te trekken indien het water in de kolk circa 5 cm (proto) lager is dan het omarmend zoet (zie fig. 42). Een optimalisatie van de schuifbeweging, zo ook de situatie in de ebfase van het getij, zal nader moeten worden bekeken.

a. Proeven met verhoogd omarmend zoet

De situatie die bij het openen van de afdichtende regelschuif ontstaat is aanzienlijk ongunstiger dan bij de situatie bij een omarmende zoetwaterstand op NAP. De waterspiegel (= het grensvlak bij begin neerwaarts uitwisselen) is bij het openen van de schuif aanzienlijk hoger waardoor het binnentredende zoete water een langere weg door/langs het zoute water af moet leggen. Hierdoor zal meer menging ontstaan (zie fig. 4.16).



Figuur 4-16: Verschil in instroomsituatie bij het begin van het neerwaarts uitwisselen bij omarmend zoet op NAP en bij verhoogd omarmend zoet

De vorm van de dichtheidsvertikaal in het "zoute gedeelte van de mengzone" is dan ook bij de situatie zonder schepen enigszins minder scherp dan bij de referentiesituatie bij het omarmend zoet op NAP (zie figuren 43 en 44 respectievelijk voor eindstand van de afdichtende regelschuif van NAP -1,00 en NAP -1,50 m).

Het zoete gedeelte van de mengzone van de dichtheidsvertikaal is echter tengevolge van toegenomen menging (grotere waterschijf boven de schuif) aanzienlijk minder scherp.

Het zoutverlies is bij proeven waarbij zoet water wordt teruggewonnen tot "onderkant schip" (d.w.z. 2,50 m onder waterstand omarmend zoet) aanzienlijk groter dan bij de referentiesituatie met het omarmend zoet op NAP (zie figuur 4.16). Figuur 45 toont voor situatie zonder schepen dat het zoutverlies ongeveer wordt verdubbeld (van ca. 1% tot ca. 2% van het uitwisselvolume). Naast een te verwachten groter zoutverlies ten gevolge van een minder scherpe dichtheidsvertikaal (zie figuur 43 en 44) is dit te verklaren door de omstandigheid dat er zoet water is teruggewonnen tot onderkant schip.

Dit heeft tot gevolg dat het grensvlak ca. 0,55 m hoger ten opzichte van de bovenzijde van de schuif opwaarts wordt uitgewisseld wat het zoutverlies in de eindfase van het opwaarts uitwisselen aanzienlijk doet toenemen.

Ter illustratie is in figuur 46 de dichtheid als functie van de tijd zoals gemeten in kolkwandriool uitgezet voor de situatie waarbij opwaarts is teruggewonnen tot respectievelijk onderkant schip (ca. NAP -1,95 m) en NAP -2,50 m. Bij opwaarts uitwisselen tot NAP -2,50 m in plaats van onderkant schip zal het zoutverlies echter wel met een schijfwater ter hoogte van de waterstand boven NAP (bij de uitgevoerde proeven met een waterstand van NAP +0,55 m ca. 8% van het uitwisselingsvolume) toenemen.

Proeven met schepen geven weinig extra informatie. De dichtheidsvertikalen zijn even scherp als bij proeven met omarmend zoet op NAP (zie figuur 47), terwijl het zoutverlies ten opzichte van de referentiewaarde ook weinig afwijkt (zie figuur 48). Wel is weer de tendens te zien dat bij proeven met opwaarts uitwisselen tot onderkant schip het zoutverlies groter is dan bij het terugwinnen van zoet water tot NAP -2,50 m. Dit leidt tot de konklusie dat het niveau waartoe opwaarts wordt uitgewisseld, bij waterstanden op het omarmend zoet hoger dan een bepaald gedefinieerd niveau (bijvoorbeeld NAP), aan een vaste schuifstand en niet aan genoemd waterniveau en scheepsdiepte (of wellicht

scheepsbezetting) moet worden gekoppeld.

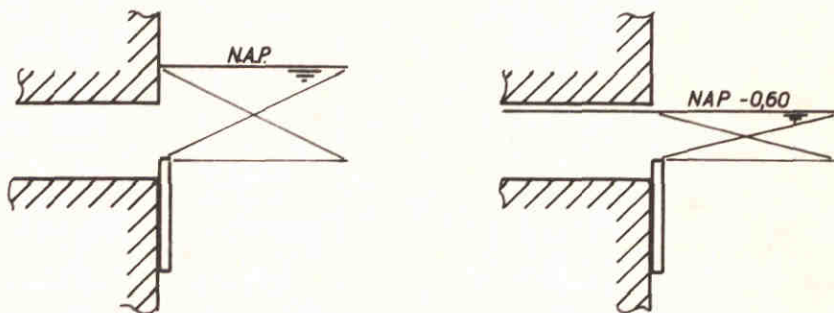
Opgemerkt wordt dat bij het ontwerp van de kolkwand van de duwvaartsluizen in de Philipsdam ten opzichte van geschetste vormgeving in figuur 4 tengevolge van afschuining van plafond van het kolkwandriool van NAP -0,50 tot NAP de menging in het begin van het neerwaarts uitwisselen kleiner zal zijn. Ook bij proeven met verhoogd omarmend zoet blijkt dat ondanks de minder scherpe dichtheidsvertikalen, bij hogere schuifstanden het zoutverlies afneemt (zie figuur 45).

b. Proeven met verlaagd omarmend zoet

De proeven met verlaagd omarmend zoet zijn uitgevoerd bij twee schuifstanden (NAP -1,00 m en NAP -1,50 m).

Bij een schuifstand van NAP -0,70 m zijn geen proeven uitgevoerd. In deze situatie staat namelijk slechts circa 0,10 m water boven de schuif, hetgeen onvoldoende is om het vereiste debiet aan te voeren ($Q_{\text{kolkwand}} < Q_{\text{riool}}$). De stroming boven de afdichtende regelschuif is zowel bij een schuifstand van NAP -1,00 m als bij een schuifstand van NAP -1,50 m subkritisch (Fr_i respektievelijk ca. 0,8 en ca. 0,3).

Daar bij het begin van het neerwaarts uitwisselen echter een kleine "plons" wordt geïntroduceerd is bij proeven zonder schepen de dichtheidsvertikaal in het zoute gedeelte van de mengzone onscherper dan bij een omarmende zoetwaterstand op NAP (zie figuur 43 en 44). Het zoete gedeelte van de mengzone van de dichtheidsvertikaal is echter scherper. Dit kan een verklaring vinden in het feit dat boven de schuif geen waterschijf aanwezig is (zie figuur 4.17) waar extra menging plaats kan vinden.



Figuur 4-17: Verschil in instroomsituatie bij het begin van het neerwaarts uitwisselen bij omarmend zoet op NAP en bij verlaagd omarmend zoet

(Dit in tegenstelling met de situatie met een verhoogde omarmende zoetwaterstand waar waterschijf juist groter is (zie figuur 4.16))

Dit verklaart tevens het geringere zoutverlies bij het terugwinnen van zoet water tot onderkant schip (zie fig. 45) bij genoemde situatie.

Bij proeven met schepen is de invloed van de schepen in het zoute gedeelte van de mengzone van de dichtheidsvertikaal nog te onderscheiden (zie fig. 47). Daar het kleine watervolume tussen kolkwand en schip snel wordt uitgewisseld is de menging van de waterschijf boven de afdichtende regelschuif gering, waardoor de vorm van de dichtheidsvertikaal in het zoete gedeelte van de mengzone bij proeven met schepen onafhankelijk is van de waterstand van het omarmend zoet (fig. 47).

4.4.6 Invloed bewegingssnelheid afdichtende regelschuif

Indien de afdichtende regelschuif sneller wordt getrokken zal de watersnelheid boven de afdichtende regelschuif eerder subkritisch worden (uitgaande van de situatie dat de grensvlaksnelheid steeds 0,01 m/s bedraagt!). De menging tijdens het openen van de schuif zal hierdoor verminderen hetgeen teruggevonden moet worden in een dunner "zoute gedeelte van de mengzone" van de dichtheidsvertikaal. Bij de interpretatie van de proeven dient wederom bedacht te worden dat de schuifbeweging met de hand is uitgevoerd. Het lag in de bedoeling om schuifsnelheden van 0,02 en 0,04 m/s te onderzoeken doch dit bleek althans voor de snelheid van 0,04 m/s niet haalbaar.

In figuur 49 en 50 zijn de dichtheidsvertikalen voor proeven "met en zonder schepen" weergegeven. Gekonkludeerd kan worden dat het verhogen van de schuifsnelheid de scherpte van de dichtheidsvertikaal doet toenemen.

Wel moet het gevaar worden onderkend dat een subkritische stroming boven de schuif het mogelijk maakt dat zout water in het kolkwandriool stroomt. Bij een kritische stroming in het riool zal dit leiden tot menging in het kolkwandriool, hetgeen tot gevolg heeft dat zout water hoger in de dichtheidsvertikaal wordt teruggevonden.

Overwogen zou kunnen worden de schuif relatief snel te trekken totdat juist een kritische stroming boven de regelschuif ontstaat ($Q_{\text{wand}} = Q_{\text{riool}} \rightarrow h_{\text{schuif}}$). Ook is het mogelijk na het instellen van een kritische stroomsituatie de regelschuif slechts "langzaam" (dezelfde snelheid als de snelheid van het grensvlak) te laten zakken.

Een en ander is mogelijk ook met of in samenhang met een debietprogrammering te realiseren (zie paragraaf 4.4.7).

4.4.7 Invloed debietprogrammering

Onder debietprogrammering wordt verstaan het variëren van het debiet in de tijd.

Daar de menging van het zoute en zoete water afhankelijk is van de impuls-uitwisseling tussen het zoute en zoete water, ontstond de gedachte dat in de fase dat een van de twee waterlagen versneld of vertraagd wordt, het debiet (zowel Q_{kolkwand} als Q_{riool}) te verkleinen. De twee fasen die hiervoor vooralsnog direkt in aanmerking komen zijn de fase waarbij het zoete water op het zoute water wordt gebracht (begin neerwaarts uitwisselen) en de fase waarin de dichtheidsvertikaal door de vloer wordt getrokken.

Daar de vloer niet in voorliggend onderzoek is geschematiseerd, is alleen gekeken naar de invloed van debietprogrammering bij het begin van neerwaarts uitwisselen.

Hoewel door debietprogrammering de schutcapaciteit van het sluizencomplex iets zal worden verkleind is in dit kader hiermede geen rekening gehouden. Mogelijk is het tijdverlies te compenseren door in de niet kritieke fase sneller uit te wisselen.

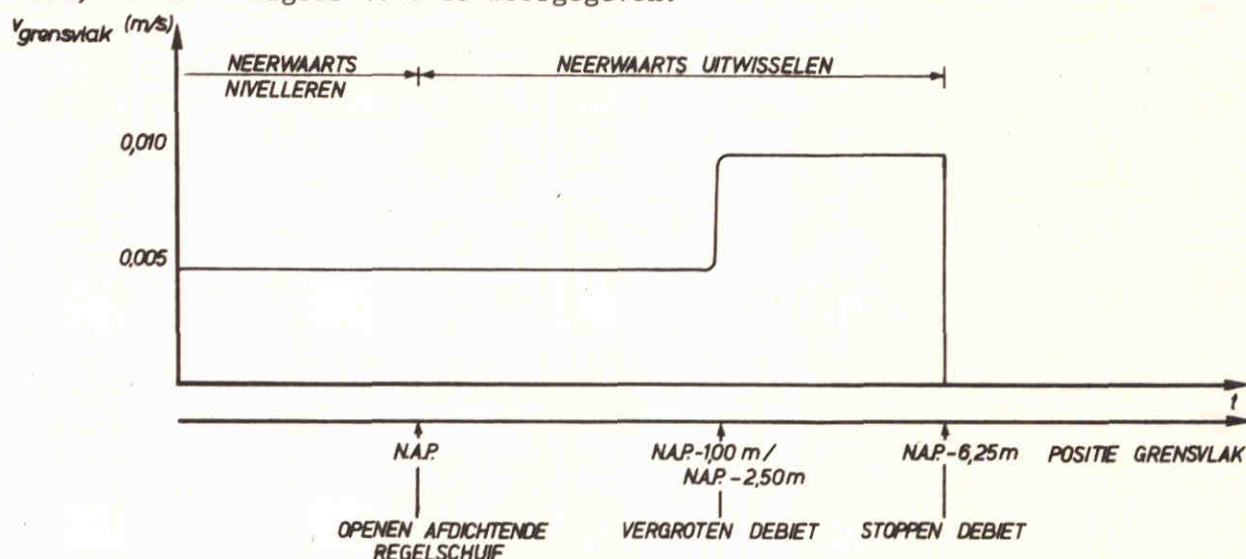
Een gunstige bijkomstigheid is dat in het begin en eind van de neerwaartse uitwisselingsfase het debiet toch toe en af moet nemen. Zeker als onafhankelijk van hoog- of laagwaterfase wordt uitgegaan van een identieke uitwisselingsysteem (zoals weergegeven in par. 3.1).

Het debietprogramma dat is uitgevoerd op het model wijkt om modeltechnische redenen toch enigszins af van het voorgestelde programma, waarbij het uitwisseldebiet wordt opgestart uitgaande van gelijk water over het kolkwand-riool.

Op het model wordt uitgegaan van de hoogwatersituatie. Op het ogenblik dat gelijk water over de kolkwand ontstaat, is reeds een uitwisseldebiet ingesteld dat overeenkomt met een grensvlaksnelheid van 0,005 m/s proto. Op dat ogenblik wordt de regelschuif met een snelheid gelijk aan de snelheid van het grensvlak (0,005 m/s) tot NAP -1,00 m geopend. (Er is slechts onderzoek verricht bij één eindstand van de afdichtende regelschuif). Indien het theoretische grensvlak een van te voren gedefinieerd niveau (respektievelijk NAP -1,00 m of NAP -2,50 m) passeerde, is het debiet gelijkmatig verhoogd tot een eindwaarde die overeenkomt met een grensvlaksnelheid van 0,01 m/s.

Dit debiet wordt dan gehandhaafd tot het theoretische grensvlak op NAP -6,25 m is aangekomen, waarna het debiet in een tijdstap nul (afsluiter dicht) wordt gestopt.

De grensvlaksnelheid als functie van de tijd (proto) komt er ongeveer uit te zien, zoals in figuur 4.18 is weergegeven.



Figuur 4.18: Grensvlaksnelheid als functie van de tijd bij het neerwaarts nivellieren en het neerwaarts uitwisselen

De beweging van grenslaag en afdichtende regelschuif is ter verduidelijking weergegeven in figuur 51. In deze figuur zijn de proeven weergegeven, indien ze waren uitgevoerd als gewenst was. Tengevolge van de reeds genoemde handbediening wijken de uitgevoerde proeven hiervan af.

De vergelijking van proefresultaten geschiedt alleen op basis van kwalitatieve vergelijking.

Bij alle betreffende proeven bedraagt het zoutwaterverlies namelijk minder dan 1% van het uitwisselvolume (zie tabel II).

De verscherping van de dichtheidsvertikaal is zowel in de zoute als in het zoete gedeelte van de mengzone voor proeven zonder schepen het geval (zie figuur 52).

Het Fr_i -getal bedraagt bij een schuifstand van NAP -1,00 m, een grensvlaksnelheid van 0,005 m/s en een dichtheidsverschil over de kolkwand van 20 kg/m^3 slechts 0,3. De stroming boven de schuif is in deze situatie derhalve subkritisch zodat kortsluitstroming naar het kolkwandriool op kan treden. Gezien het feit dat de Fr_i -waarde in het kolkwandriool slechts ca. 0,5 bedraagt is zelfs in principe direct een kortsluitstroming naar het omarmend zoete water mogelijk.

Doordat de grensvlaksnelheid gelijk wordt ingesteld aan de schuifsneldheid is de theoretische hoogte waarover het dichtheidsverschil optreedt (Δy) beperkt tot 0,25 m (zie figuur 51).

Desondanks is na ca. 90 seconden prototype (20 seconden model) zout water in het kolkwandriool gekonstateerd (zie onderste figuur in figuur 53). Dit zoutverlies treedt vanzelfsprekend op zowel bij de situatie dat het grensvlak op NAP -1,00 m als op NAP -2,50 m wordt versneld van 0,005 m/s tot 0,010 m/s. Daar het debiet in het kolkwandriool bij eerstgenoemde situatie echter eerder wordt versneld, zal het uit de kolk "ontsnapte" zoute water eerder naar de kolk worden teruggebracht (stroming in kolkwandriool bij $V_{\text{grensvlak}} = 0,010$ m/s juist kritisch). Dit verklaart het scherper zijn van de dichtheidsvertikaal in het zoete gedeelte van de mengzone voor de situatie waarbij de grenslaag reeds bij het bereiken van het niveau van NAP -1,00 m in plaats van NAP -2,50 m is versneld (zie figuur 54). Opgemerkt wordt dat voor beide situaties visueel is gekonstateerd dat al het zoute water dat bij het begin van het neerwaarts uitwisselen in het kolkwandriool is gestroomd door het zoete water weer naar de kolk is teruggespoeld. Dit is in te zien indien men bedenkt dat na de fase dat de grenslaag de bovenzijde van de afdichtende regelschuif is gepasseerd, de aandrijvende kracht van de zouttongbeweging naar het omarmend zoet verdwenen is en de in het kolkwandriool aanwezige stilstaande zouttong geleidelijk door het binnenstromende zoete water wordt afgebroken.

Bij proeven met schepen is ten gevolge van het geringe volume tussen kolkwand en schip het niveau van NAP -1,00 m en NAP -2,50 m reeds snel na het begin van het neerwaarts uitwisselen bereikt.

Zoals figuur 51 leert is het theoretische grensvlak reeds de bovenzijde van de afdichtende schuif gepasseerd voordat deze schuif enigszins geopend is. In de praktijk is de situatie wel enigszins afwijkend van de in figuur 51 geschetste situatie (waterniveau in kolk daalt in eerste instantie inclusief schip - met een snelheid van 0,005 m/s totdat evenwichtsverval over kolkwand is opgebouwd) doch de menging in de grenslaag is beperkt (zie ook paragraaf 4.4.3).

De scherpthe van de dichtheidsvertikaal is zowel in het zoute als in het zoete gedeelte van de mengzone te vergroten door het debiet bij begin van het neerwaarts uitwisselen te verkleinen (programmeren).

Tot slot is een proef zonder schepen uitgevoerd (proef 234) waarbij de afdichtende regelschuif met een snelheid van 0,01 m/s is getrokken en waarbij de grenslaagsnelheid van NAP tot NAP -2,50 m 0,005 m/s heeft bedragen waarna deze is vergroot tot 0,010 m/s.

Figuur 53 geeft weer dat de hoeveelheid zout water die in het kolkwandriool is gekonstateerd zowel wat betreft absolute dichtheid als wat betreft verblijf-

tijd toeneemt. Dit was gezien de tijdsduur dat kortsluitstroming boven de afdichtende regelschuif optreedt, ook te verwachten.

In figuur 56 is te zien dat de dichtheidsvertikaal in het zoute gedeelte van de mengzone een weinig scherper wordt. Wellicht kan dit worden verklaard door het feit dat het zoute water dat uit de kolk in het kolkwandriool stroomt. Dit zoute water wordt in een latere fase met het zoete water weer in de kolk gebracht en wordt hoger in de vertikaal weer teruggevonden. Een verbetering vormt dit dus niet.

Een mogelijke debietprogrammering, die nog niet genoemd is en wellicht ook een reductie van het zoutverlies tot gevolg heeft, is het aanpassen van het debiet in de eindfase van het opwaarts uitwisselen.

Door het verkleinen van het debiet in deze fase zal de snelheid boven de afdichtende regelschuif afnemen, waardoor het grensvlak minder hoog zal worden opgezogen, waardoor de mogelijkheid van een kortsluitstroming tengevolge van selektief afzuigen afneemt.

Als konklusie van deze paragraaf kan worden gesteld dat de interactie tussen schuifbeweging en grensvlakbeweging of in feite sturing van de afdichtende regelschuiven en de schuiven in de riolen op basis van een intern Froudegetal boven de afdichtende regelschuif in het begin van het neerwaarts uitwisselen een grote bijdrage levert aan de scherpte van de dichtheidsvertikaal en dus voor de zout/zoetverliezen. De wijze waarop de verschillende van belang zijnde parameters op elkaar ingrijpen wordt aangegeven in appendix A.

4.4.8 Invloed dichtheidsverschil ($\Delta\rho$)

Het dichtheidsverschil tussen het zoute en zoete pand ligt niet vast. Het zal mede afhankelijk zijn van de kwaliteit van het zout/zoetscheidingssysteem van het sluizencomplex doch ook externe aspecten als het lozingsdebiet van het Zoommeer of de tijd van het jaar (seizoensinvloeden) spelen een belangrijke rol.

Een dichtheidsverschil van 20 kg/m^3 is als maatgevende situatie voor het onderzoek gehanteerd, doch dit zal zeker niet het gehele jaar aanwezig zijn. Om een indruk te krijgen wat de invloed van een geringer dichtheidsverschil is, zijn voor eindstanden van de afdichtende regelschuif van NAP $-0,70 \text{ m}$ en NAP $-1,50 \text{ m}$ enige proeven uitgevoerd met $\Delta\rho = 12 \text{ kg/m}^3$ en 16 kg/m^3 .

De stroming in het kolkwandriool en boven de regelschuif zal bij een afnemend dichtheidsverschil over de kolkwand sneller kritisch worden.

Door een afname van de relatieve dichtheid ($\epsilon = \Delta\rho/\rho$) zal bij gelijkblijvende

overige omstandigheden het intern Froudegetal toenemen (zie paragraaf 4.2). De stroming boven de regelschuif is bij een $\Delta\rho = 12 \text{ kg/m}^3$ bij een stand van ca. NAP -0,95 m en bij $\Delta\rho = 16 \text{ kg/m}^3$ bij een stand van ca. NAP -0,90 m kritisch. Bij de schuifstand van NAP -0,70 m is de stroming boven de afdichtende regelschuif derhalve bij de drie onderzochte dichtheidsverschillen steeds superkritisch, terwijl bij een schuifstand van NAP -1,50 m de stroming subkritisch is. De vorm van de dichtheidsvertikalen is voor de diverse dichtheidsverschillen zowel bij proeven met schepen als bij proeven zonder schepen weinig verschillend (zie figuur 57 t/m 60). Door de dichtheidsvertikalen dimensioneloos uit te zetten is dit beter waar te nemen (zie figuur 61). Gesteld kan worden dat de dikte van de grenslaag slechts een weinig afhankelijk is van het dichtheidsverschil (Neemt iets toe).

Gezien deze omstandigheid was het wellicht illustratiever geweest enige proeven uit te voeren bij een stand van de afdichtende regelschuif waar de stroming boven de schuif juist van super- naar subkritisch omslaat (\approx NAP -1,00 m). Het geringe verschil in dikte van de grenslaag komt ook tot uiting indien het zoutverlies wordt uitgezet als functie van de schuifstand voor de verschillende dichtheidsverschillen (zie figuur 62 en tabel II).

Het zoutverlies neemt in % van het uitwisselvolume bij afnemend dichtheidsverschil een weinig toe. In hoeverre de zoutbelasting (in kg Cl^- -ionen) nu als functie van het dichtheidsverschil verandert valt bij genoemde geringe toename van het zoutwaterverlies niet in tendensen uit te drukken. Wel kan worden gesteld dat de afname van de zoutbelasting (kg Cl^- -ionen) niet lineair is met de afname van het dichtheidsverschil.

Omdat de dikte van de grenslaag slechts in geringe mate afhankelijk blijkt van het dichtheidsverschil neemt het verschil in scherpte van de dichtheidsvertikaal tussen proeven "met schepen" en proeven "zonder schepen" bij een geringer dichtheidsverschil relatief toe (zie figuur 63).

4.4.9 Proeven met eenzijdig uitwisselen van de sluiskolk

Bij het ontwerp van de Jachtensluis in de Philipsdam kwam de vraag naar voren of het hydraulisch gezien aanvaardbaar was een kolkwandperforatie aan te brengen aan één langszijde van de kolk.

Dit systeem is eenzijdig uitwisselen genoemd. Op grond van enige globale proeven met de kolkwand met niveauschuif (zie paragraaf 4.3.5) leek het eenzijdig uitwisselen voor de Jachtensluis mogelijk. Dit vooral omdat geen zoet water behoefde te worden teruggewonnen.

In de tweede fase van het onderzoek is voor de kolkwand met afdichtende regelschuif een meetprogramma uitgevoerd om het fysische gebeuren beter te leren kennen (zie tabel III).

Het onderzoek is uitgevoerd bij een drietal schuifstanden (NAP -0,70 m, NAP -1,00 m en NAP -1,50 m) en bij een dichtheidsverschil $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$, waarbij zowel neerwaarts als opwaarts is uitgewisseld.

Een 12 m brede sluiskolk die via één kolkwand uitwisselt kan globaal gezien worden als een op de symmetrie-as doorgesneden 24 m brede sluiskolk. De snelheid boven de afdichtende regelschuif is, wanneer de schuifsnelheid en grensvlaksnelheid op identieke wijze zijn ingesteld, gelijk.

In figuur 64 zijn de dichtheidsvertikalen van de 12 m brede sluiskolk, waarin eenzijdig wordt uitgewisseld en voor de 24 m brede sluiskolk [2], waarbij tweezijdig is uitgewisseld voor een eindstand van de afdichtende regelschuif van NAP -1,50 m ter illustratie weergegeven.

De stroomsnelheid boven de afdichtende regelschuif is bij het eenzijdig uitwisselen bij overigens gelijke omstandigheden het dubbele van het tweezijdig uitwisselen. Het Fr_i -getal is derhalve (zie vergelijking 6) ook tweemaal zo hoog ($Fr_i = 1$ bij stand afdichtende regelschuif van ca. NAP -1,10 m).

Dit leidt bij het begin van het neerwaarts uitwisselen tot een grotere menging en derhalve minder scherpe dichtheidsvertikalen indien schuifbeweging en grensvlaksnelheid gelijk blijven (zie figuur 65.).

Door de grensvlaksnelheid en de schuifsnelheid van 0,010 m/s tot 0,005 m/s te reduceren ontstaat in het kolkwandriool en boven de afdichtende regelschuif dezelfde stroomsituatie als bij het tweezijdig uitwisselen. Het verschil is alleen dat bij het eenzijdig uitwisselen het proces tweemaal zolang duurt, hetgeen vooral in de fase dat het zoete water door het zoute water stroomt extra menging veroorzaakt. Dit is met name terug te vinden in het zoute gedeelte van de mengzone van de dichtheidsvertikaal (zie figuur 66).

Daar de stroming boven de regelschuif voor een grensvlaksnelheid van 0,005 m/s bij NAP -0,95m kritisch is, zal zeker bij de schuifstand van NAP -1,50 m zout water in het kolkwandriool stromen. Aangezien de kolkwand perforatie voor het eenzijdig uitwisselen was vergroot van $0,80 \times 1,00 \text{ m}^2$ tot $1,25 \times 1,00 \text{ m}^3$ (zie figuur 30) was bij genoemde grensvlaksnelheid een directe kortsluitstroming naar het omarmend zoete water mogelijk (Fr_i -kolkwand = 0,6).

Hoewel een aanzienlijke hoeveelheid zout water in het kolkwandriool is gekonstateerd lijkt gezien het gemeten zoutverlies (zie figuur 67 en tabel III) bij de schuifstand van NAP -1,50 m een kortsluitstroming niet te zijn opgetreden.

Opgemerkt dient echter wel te worden dat de gemodeleerde kolkwandperforatie

(zie figuur 30) voor het optredende uitwisseldebiet te groot was. In het prototype zal een zodanige perforatie moeten worden aangebracht dat bij het maatgevende debiet de stroming in het kolkwandriool kritisch of superkritisch zal zijn ($Fr_i \geq 1$).

Het zoutverlies bij de verschillende standen van de afdichtende regelschuif zoals weergegeven in figuur 67 onderschrijft voor de proeven "zonder schepen" de verwachting die op grond van de vorm van de dichtheidsvertikalen was te verwachten.

Problemen werden verwacht bij proeven "met schepen". Bij het eenzijdig uitwisselen moet al het zoete water tussen kolkwand en schip worden aan- en afgevoerd. Daar de lengte van het schip in het model zodanig was dat geen zoet water voor en achter het schip langs kan stromen (tweedimensionaal onderzoek) leek door de asymmetrische instroming een grote menging mogelijk.

In de situatie bij een uitwisselsnelheid van 0,005 m/s bleek dit niet het geval te zijn (zie figuur 68). De vorm van de vertikaal wijkt bij eenzijdig uitwisselen een weinig af van de situatie met tweezijdig uitwisselen bij een tweemaal zo grote grensvlaksnelheid. Wordt de capaciteit van de sluis echter voor één- en tweezijdig uitwisselen gelijk gehouden dan zijn de verschillen aanzienlijk (zie figuur 69).

Het zoutverlies bij proeven met schepen is voor verschillende eindstanden van de afdichtende regelschuif weergegeven in figuur 70. De afname van het zoutverlies door reductie van de grensvlaksnelheid van 0,010 m/s tot 0,005 m/s is bij proeven met schepen aanzienlijk geringer dan bij proeven zonder schepen. Wellicht is dit te verklaren door het effect van selectief afzuigen in de opwaartse uitwisselfase. Daar de snelheid boven de afdichtende regelschuif in deze fase van het uitwisselproces even groot is als bij het tweezijdig uitwisselen is de plaatselijke grenslaagverhoging ook even groot. Daar het uitwisselproces echter tweemaal zoveel tijd in beslag neemt, is de kans op kortsluiting van zout water door dit mechanisme aanzienlijk groter.

Tot slot zijn zowel voor proeven "met als zonder schepen" ter vergelijking met het tweezijdig uitwisselen enige proeven uitgevoerd waarbij het terugwinniveau is gevarieerd (eindstand afdichtende regelschuif NAP -1,00 m). Het toenemend zoutverlies bij proeven met schepen (zie figuur 71) bij het verder terugwinnen van zoet water wordt weer toegeschreven aan het effect van selectief afzuigen.

Als eindkonklusie van het eenzijdig uitwisselen kan worden gesteld dat dit gezien voorliggend tweedimensionaal onderzoek zeker mogelijk is. Een reductie van de grenslaagsnelheid is echter aan te bevelen waarbij wordt opgemerkt dat

bij een besturing van de afdichtende regelschuif op basis van een kritisch intern Froudegetal boven de regelschuif (zie appendix A) dit facet impliciet wordt meegenomen.

4.5 Globale vergelijking resultaten onderzoek 12 m brede sluiskolk met resultaten 24 m brede sluiskolk [2] voor de kolkwand met afdichtende regelschuif

Een vergelijking van het voorliggend onderzoek van de kolkwand van een 12 m brede sluiskolk van het Kreekraktype met het vergelijkbare onderzoek voor de 24 m brede sluis lijkt tot besluit zinvol. De verschillen tussen beide kolkbreedten zijn terug te voeren tot het stroommechanisme in de directe omgeving van de kolkwandriolen.

De stroming juist boven en voor de afdichtende regelschuif is in belangrijke mate bepalend voor de menging en derhalve voor de kwaliteit van het zout/zoetscheidingsstelsel in het begin van de neerwaartse uitwisselfase.

Indien nu wordt uitgegaan van een bepaald debiet ($Q_{\text{kolkwandriool}}$) door de kolkwandriolen dan zal de snelheid waarmee de grenslaag in een 12 m brede sluis ca. 2 maal zo snel worden weggetrokken dan bij een 24 m brede sluiskolk. Of anders gezegd, bij een gelijke grensvlaksnelheid in een 12 m en 24 m brede sluis zal het debiet door het kolkwandriool van de 24 m brede sluis 2x zo groot zijn dan bij de 12 m brede sluis. In paragraaf 4.4.9 is op dit verschil reeds op ingegaan.

Bij het eenzijdig uitwisselen van een 12 m brede sluis ontstaat namelijk wel een vrijwel identiek stroombeeld in de omgeving van de regelschuif als bij een 24 m brede sluis.

Een 12 m brede sluis die via één kolkwand uitwisseld kan gezien worden als een op de symmetrie-as doorgesneden 24 m brede sluiskolk. Figuur 64 toont dan aan dat de vorm van de dichtheidsvertikaal voor beide sluisbreedten dan weinig verschil toont.

In figuur 72 en 73 is voor het tweezijdig uitwisselen voor proeven "met en zonder schepen" die situatie vergeleken waarbij de snelheid van de grenslaag bij beide kolkbreedten gelijk is ($v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$).

De snelheid boven de afdichtende regelschuif (eindstand NAP -1,50 m) is bij de 24 m brede sluiskolk hierbij ca. 2x zo groot. Dit veroorzaakt een aanzienlijk grotere menging hetgeen vooral bij de proeven "zonder schepen" in een aanzienlijke toename van de dikte van de grenslaag resulteert.

Indien de stroming boven de afdichtende regelschuif gelijk dient te zijn, moet

de situatie met een grensvlaksnelheid van 0,005 m/s voor een 24 m brede sluiskolk vergeleken worden met een grensvlaksnelheid van 0,010 m/s voor de 12 m brede sluiskolk. In de figuren 74 en 75 zijn deze situaties voor zowel proeven "met als zonder schepen" vergeleken voor een eindstand van de afdichtende regelschuif van NAP -1,50 m.

Het verschil tussen deze situaties bij gelijkblijvende omstandigheden ($\Delta\rho$, waterstanden, etc.) is relatief gering, waarmee wordt onderschreven dat de stroomsnelheid boven de schuif in feite de belangrijkste parameter is in het mengproces, terwijl de snelheid waarmee de grenslaag wordt weggetrokken een minder belangrijke grootte vormt.

LITERATUUR

- 1 KOLKMAN, P.A. and SLAGTER, J.C..
"The Kreekrak Locks on the Scheldt-Rhine connection".
Rijkswaterstaat communications, No. 24, 1976.
- 2 Waterloopkundig Laboratorium.
"Sluizen in de Compartimenteringsdammen".
Vormgeving kolkwand, kolkbreedte 24 m.
Verslag modelonderzoek M 1431-II, oktober 1977.
- 3 Rijkswaterstaat, Deltadienst, Afdeling Waterbouwkundige Werken Oost.
Nota "Schutsluis Oesterdam".
- 4 Waterloopkundig Laboratorium.
"Kolkbreedte Philipsdamsluizen".
Verslag modelonderzoek M 1359-I (verslag in voorbereiding).
- 5 Rijkswaterstaat, Deltadienst, Hoofdafdeling Waterloopkunde.
"Het zoutgehalte in de kom van de Oosterschelde in de C-3 situatie bij
verschillende zoetwaterbelastingen en eventuele rondstroming naar de
Westerschelde".
Nota DDWT-77.038.
- 6 Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Distrikt
Zuid-West.
"De chloridebelasting en het zoetwaterverlies via de schutsluizen van
het toekomstige Zoommeer".
Nota No. 24.001-16.
- 7 Waterloopkundig Laboratorium.
"Methoden dichtheids-geleidendheidsmeten".
Nota Speurwerkonderzoek 215-2, maart 1978.
- 8 Waterloopkundig Laboratorium.
"Zoutbestrijding Kreekraksluizen".
Verslag modelonderzoek M 865-IV, oktober 1967.

LITERATUUR (vervolg)

- 9 Rijkswaterstaat, Deltadienst, Waterbouwkundige Werken Oost.
"Jachtensluis Philipsdam".
- 10 Waterloopkundig Laboratorium.
"Oosterdamsluis, vergelijking zout/zoetverliezen sluistypen".
Verslag onderzoek R 1210-II, december 1977.
- 11 Waterloopkundig Laboratorium.
"Zoutbestrijding Kreekraksluizen".
Verslag modelonderzoek M 865-VII, augustus 1969.
- 12 Waterloopkundig Laboratorium.
"Zoutbezwaar tengevolge van scheepsbewegingen bij schutsluizen met onbestemd grensvlak".
Verslag modelonderzoek M 1394, november 1976.
- 13 Waterloopkundig Laboratorium.
"Vormgeving geperforeerde vloer Philipsdamsluizen".
Verslag modelonderzoek M 1464 (verslag in voorbereiding).
- 14 Waterloopkundig Laboratorium.
"Onderzoek sluizen in de Compartimenteringsdammen".
Nota M 1359, juni 1977.
- 15 Waterloopkundig Laboratorium.
"Zoutverlies door scheepsbewegingen in de Oosterdamsluis".
Verslag modelonderzoek M 1463 (verslag in voorbereiding).
- 16 Waterloopkundig Laboratorium.
"Zoutbestrijding schutsluizen Hansweert".
Verslag modelonderzoek M 1128, oktober 1972.
- 17 STEFAN, M.
"Stratification of flow from channel into deep lake".
Proc. Am. Soc. Engrs., 96, 1970, paper 7401.

LITERATUUR (vervolg)

- 18 Rijkswaterstaat, Deltadienst, Hoofdafdeling Waterloopkunde en het Waterloopkundig Laboratorium.
"Onderzoek ten behoeve van de duwvaartsluizen in de Philipsdam".
Konceptnota F 77.10C.00/R 1253, januari 1978.

- 19 Waterloopkundig Laboratorium.
"Kolkwand zoute baksluis, kolkbreedte 12 m".
Verslag modelonderzoek, M 1359, deel III (verslag in voorbereiding).

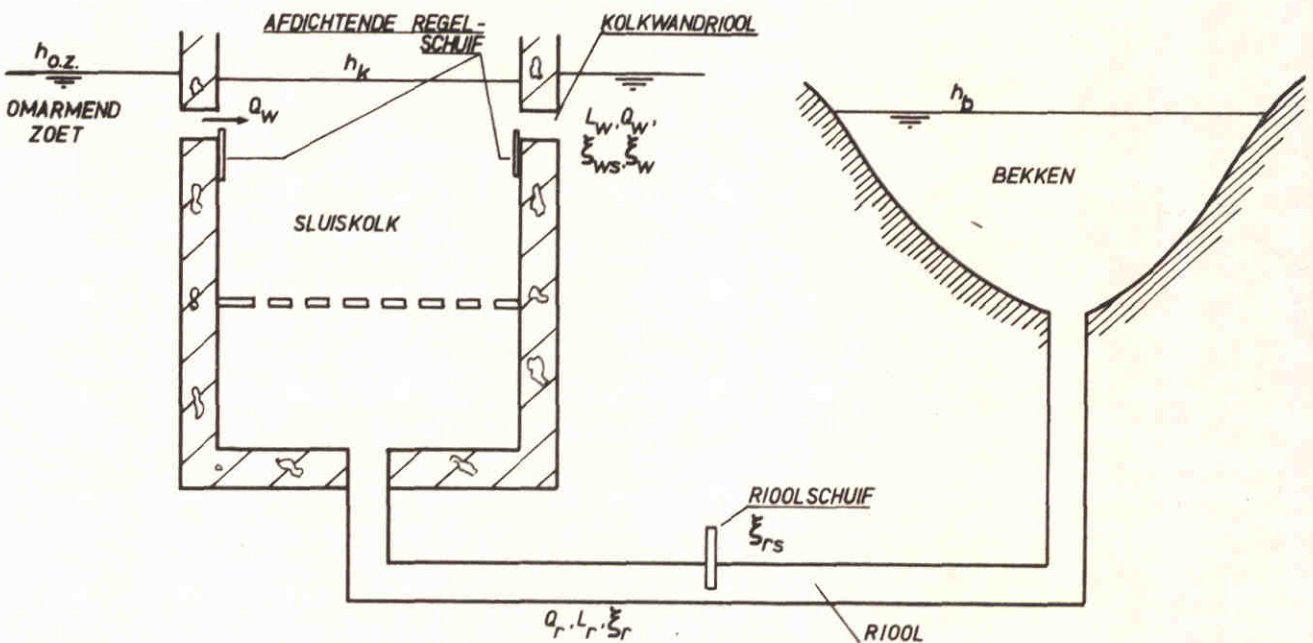
- 20 Waterloopkundig Laboratorium.
Duwvaartsluizen Philipsdam.
"Vormgeving kolkwandopening".
Verslag modelonderzoek M 1384, december 1977.

- 21 Waterloopkundig Laboratorium.
Duwvaartsluizen Philipsdam.
"Beweging afdichtende regelschuiven bij het neerwaarts uitwisselen."
Verslag bureaustudie R 1369 (onderzoek in uitvoering).

APPENDIX A

Mathematische beschrijving van het begin van het neerwaarts uitwisselproces1 Inleiding

Wordt ervan uitgegaan dat het uitwisselen plaatsvindt met behulp van een hoog respectievelijk laag bekken (voor respectievelijk opwaarts en neerwaarts uitwisselen) dan kan het sluisstelsel worden gezien als drie reservoirs die op een wijze zoals op onderstaande schets is weergegeven door middel van riolen zijn verbonden.



Figuur A-1: Schematische voorstelling van het uitwisselstelsel

De interactie tussen de verschillende bekkens kan met behulp van bewegings- en continuïteitsvergelijking worden aangegeven. Als extra randvoorwaarde wordt gesteld dat het intern Froudegetal (zie par. 2.2) boven de afdichtende regelschuif aan een bepaald criterium moet voldoen.

Uitgaande van deze wiskundige beschrijving van het systeem kunnen meerdere mathematische modellen worden opgesteld aan de hand waarvan afdichtende regelschuiven en rioolschuiven geprogrammeerd kunnen worden uitgaande van een zo optimaal mogelijke stroming boven de afdichtende regelschuif. Deze berekeningen zijn in het najaar van 1978 aangevangen [21]. Door deze bere-

kende schuifbeweging in een fysisch model te toetsen kan het effect van deze programmering op de kwaliteit van het zout/zoetbestrijdingssysteem worden nagegaan. Tevens kan worden afgeschat wat de afwijking van optimale situaties voor konsekventies heeft op de zout/zoetverliezen.

2 Notatie

		dimensie
A_r	= doorsnede riool	m^2
A_w	= doorsnede kolkwandriool	m^2
b_w	= breedte boven afdichtende regelschuif	m
d_r	= doorstroomhoogte onder rioolschuif	m
d_w	= doorstroomhoogte boven afdichtende regelschuif	m
D_r	= hoogte riool	m
D_w	= hoogte kolkwandriool	m
$(d/D)_{rs}$	= openingspercentage rioolschuif	-
$(d/D)_{ws}$	= openingspercentage afdichtende regelschuif	-
F_k	= oppervlak sluiskolk	m^2
g	= zwaartekrachtsversnelling	m/s^2
h_b	= waterstand bekken	m
h_k	= waterstand kolk	m
h_{oz}	= waterstand omarmend zoet	m
L_r	= lengte resp. riool waarop ξ -waarde betrokken is	m
L_w	= lengte kolkwandriool	m
Q_r	= riooldebiet	m^3/s
Q_w	= kolkwanddebiet	m^3/s
α	= Froude interngetal	-
ξ_{rs}	= weerstand rioolschuif	-
ξ_{ws}	= weerstand wandschuif	-
ξ_w	= weerstand kolkwandriool	-
ξ_r	= weerstand resp. uitlaat-, inlaat- of doorlaatwerk	-
ϵ	= $\Delta\rho/\rho$	-
ρ	= dichtheid zoete water	kg/m^3
$\Delta\rho$	= dichtheidsverschil tussen kolk en omarmend zoet	kg/m^3

3 Vergelijkingen

Bij onderstaande vergelijkingen zijn de volgende tekenafspraken aangehouden: waterspiegelrijzing is positief.

kolkwanddebiet kolkinwaarts positief
 riooldebiet bekkenwaarts positief

bewegingsvergelijking kolkwandriool

$$h_{oz} - h_k = (\xi_w + \xi_{ws}) \frac{Q_w/Q_w}{2gA_w^2} + \frac{L_w}{gA_w} \frac{dQ_w}{dt} \quad (1)$$

continuïteitsvergelijking betrokken op kolk

$$Q_w - Q_r = F_k \frac{dh_k}{dt} \quad (2)$$

bewegingsvergelijking in, uit, doorlaatriool

$$h_k - h_b = (\xi_r + \xi_{rs}) \frac{Q_r/Q_r}{2gA_r^2} + \frac{L_r}{gA_r} \cdot \frac{dQ_r}{dt} \quad (3)$$

Froude-internvoorwaarde

$$\frac{(Q_w/d_w \cdot b_w)^2}{d_w \varepsilon g} = \alpha \quad (4)$$

α = waarde van het intern Froudegetal (normaliter 1).

Vergelijking (4) uitgewerkt geeft:

$$Q_w^2 = \alpha \varepsilon g d_w^3 \cdot b_w^2$$

en met behulp van

$$A_w = D_w \cdot b_w$$

volgt

$$Q_w^2 = \alpha \varepsilon g \frac{A_w^3}{b_w} \left(\frac{d_w}{D_w}\right)^3 \quad (4a)$$

4 Berekeningswijzen

Uitgaande van bovengenoemde vergelijkingen kunnen een drietal mathematische programma's opgesteld worden. De mogelijkheden van deze programma's zijn als volgt:

Programma A

Uitgaande van de gegeven beweging van de afdichtende regelschuif als functie van de tijd, bekende randvoorwaarden ($\Delta\rho$, h_{oz} , h_b), opgegeven stroming boven de afdichtende regelschuif (α) wordt de beweging van de rioolschuif (en derhalve het riooldebiet) bepaald

$$\begin{array}{l} \text{r.v.w.} \\ \alpha \\ (d/D)_{ws} \end{array} \left\{ \rightarrow Q_r, (d/D)_r \right.$$

Programma B

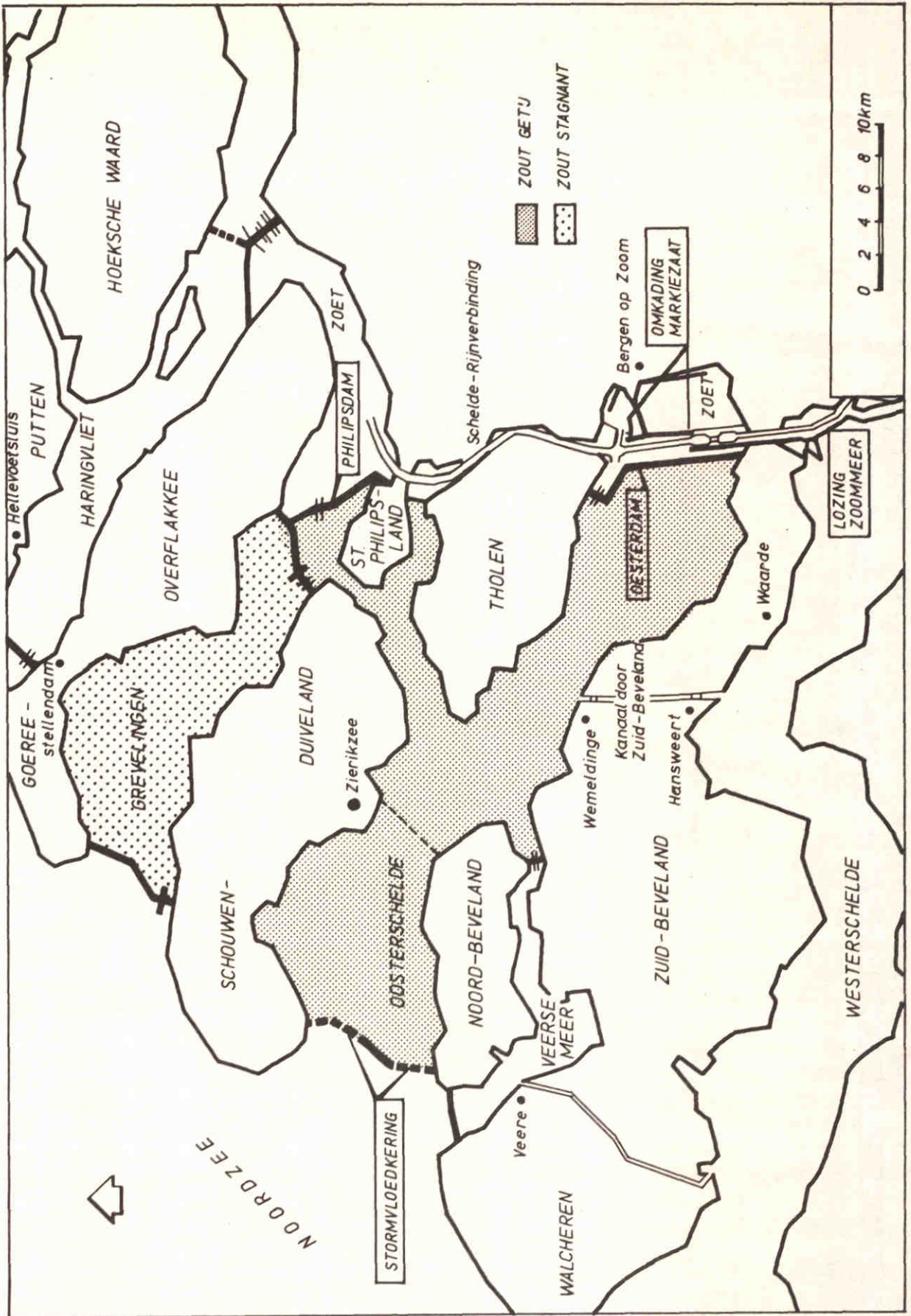
Wordt uitgegaan van het gegeven riooldebiet als functie van de tijd en wordt weer gesteld dat aan een bepaalde Froude-internvoorwaarde boven de afdichtende regelschuif moet worden voldaan dan is de beweging van de afdichtende regelschuif te bepalen.

$$\begin{array}{l} \text{r.v.w.} \\ \alpha \\ Q_r \end{array} \left\{ \rightarrow Q_w, (d/D)_{ws} \right.$$

Programma C

Tot slot is een programma mogelijk waarmee bekeken kan worden hoe het Fr_i -getal boven de afdichtende regelschuif in de tijd varieert indien een bepaald riooldebiet en beweging van de afdichtende regelschuif wordt opgedrukt.

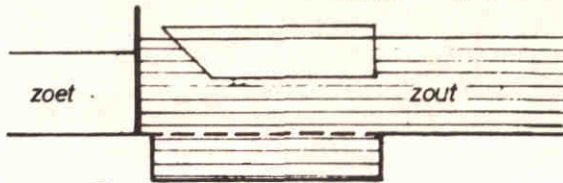
$$\begin{array}{l} \text{r.v.w.} \\ Q_r \\ (d/D)_{ws} \end{array} \left\{ \rightarrow \alpha \right.$$



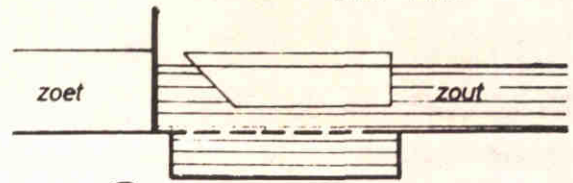
COMPARTIMENTERING VOLGENS MODEL C₃
MET KANAAL DOOR ZUID - BEVELAND

VLOEDSITUATIE ($h_{zout} > h_{zoet}$)

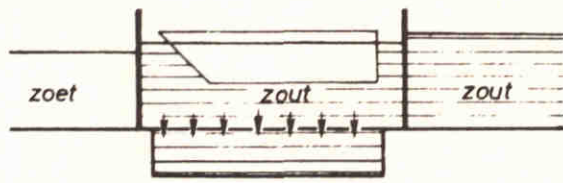
EBSITUATIE ($h_{zout} < h_{zoet}$)



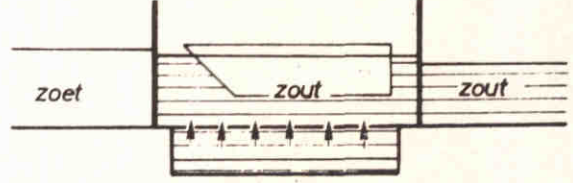
fase ① invaren schepen (Zijpe)



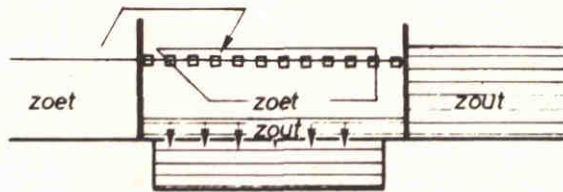
fase ① invaren schepen (Zijpe)



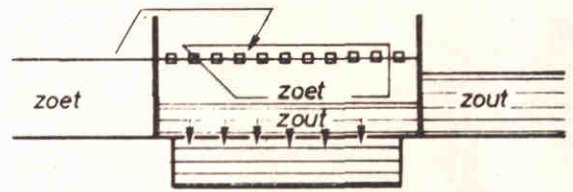
fase ③ neerwaarts nivelleren



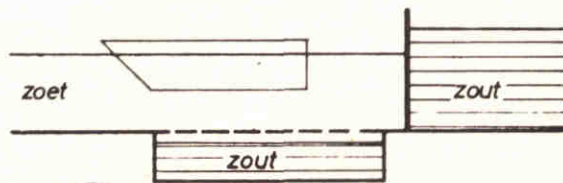
fase ③ opwaarts nivelleren



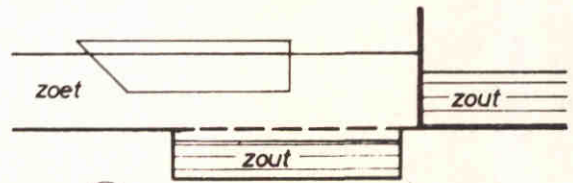
fase ④ neerwaarts uitwisselen



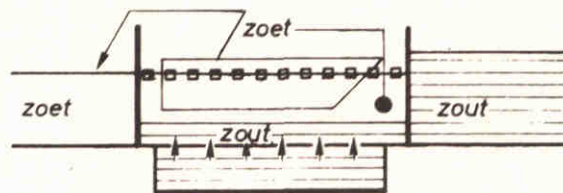
fase ④ neerwaarts uitwisselen



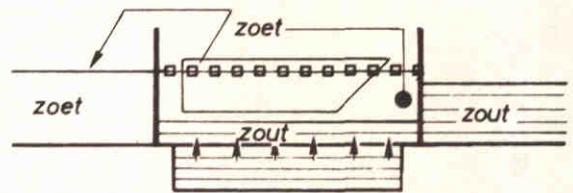
fase ⑥ uit-en invaren schepen (Zoommeer)



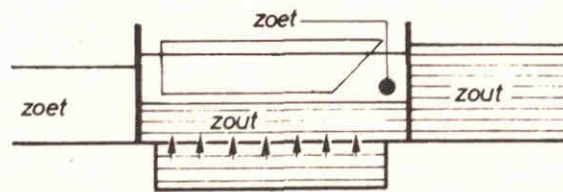
fase ⑥ uit-en invaren schepen (Zoommeer)



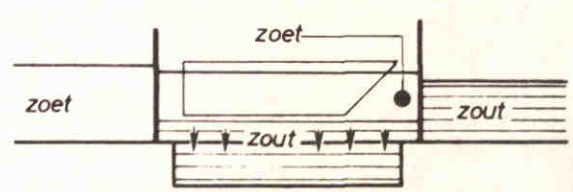
fase ⑧ opwaarts uitwisselen



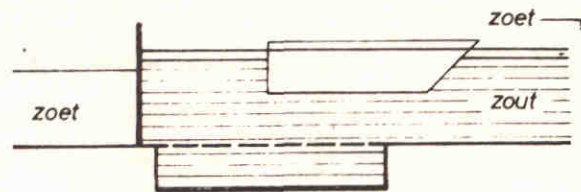
fase ⑧ opwaarts uitwisselen



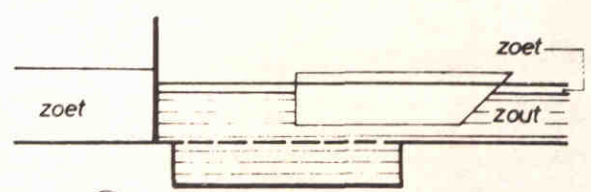
fase ⑨ opwaarts nivelleren



fase ⑨ neerwaarts nivelleren

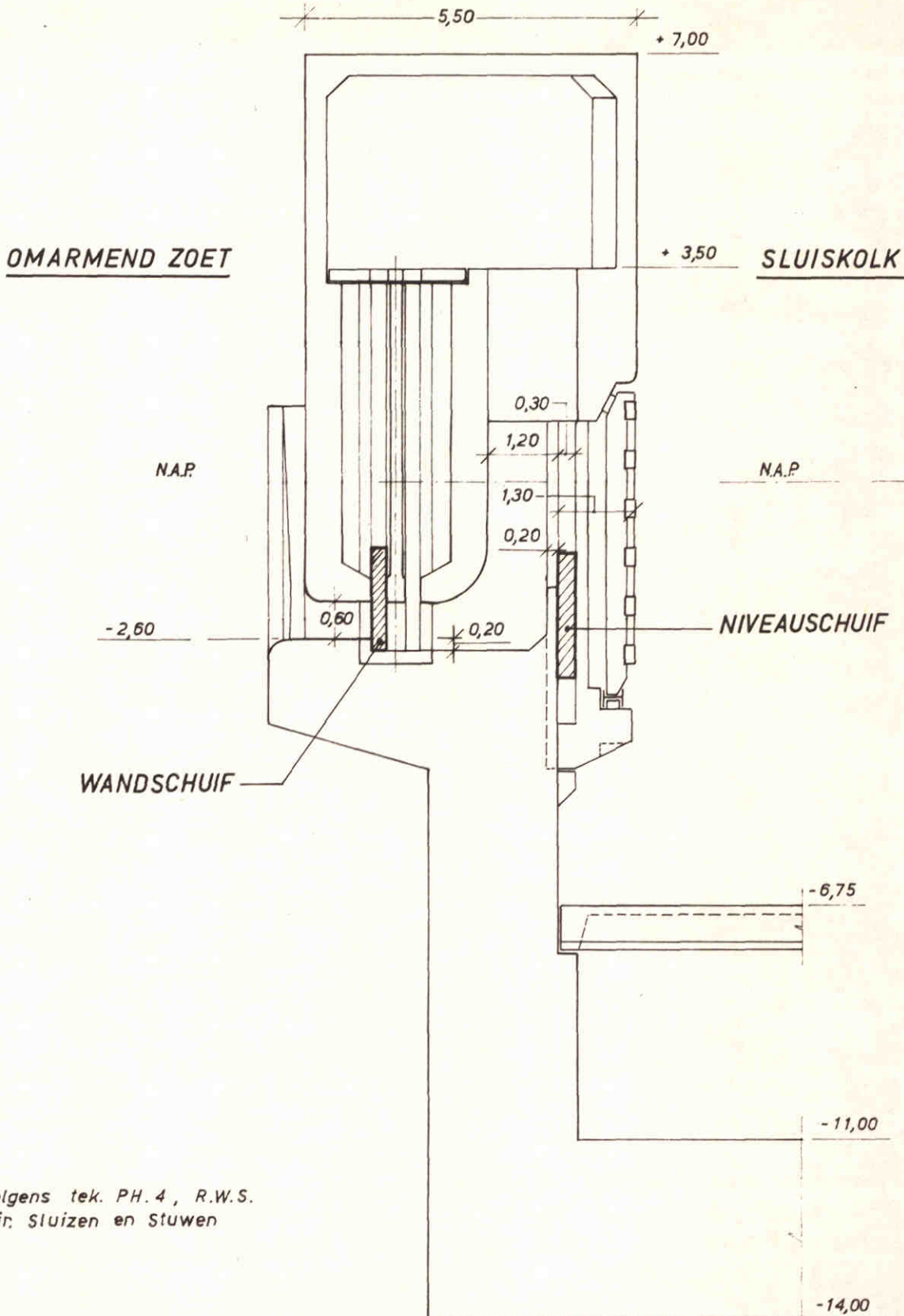


fase ⑪ uitvaren schepen (Zijpe)



fase ⑪ uitvaren schepen (Zijpe)

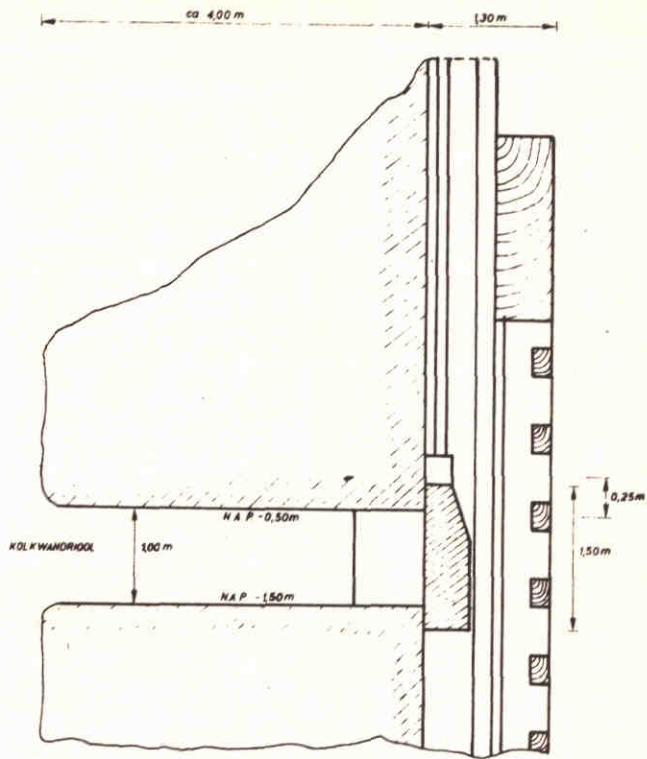
SCHUTCYCLUS KREEKRAKTYPE MET GETIJDEN
MET TERUGWINNEN ZOETWATER



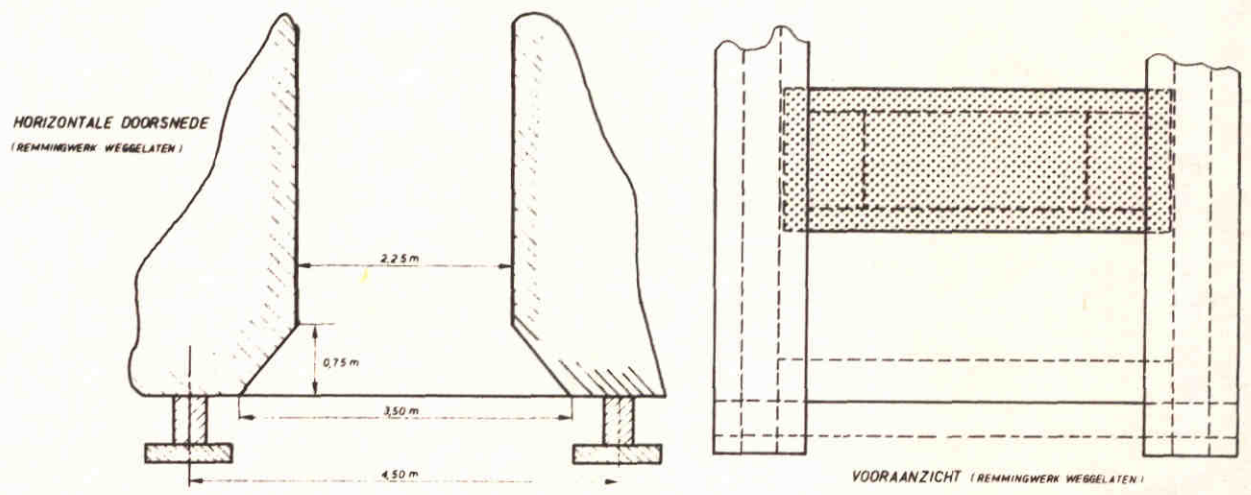
hoogtematen in m tov. N.A.P.

Volgens tek. PH. 4, R.W.S.
Dir. Sluizen en Stuwen

KOLKWAND VORMGEVING MET NIVEAUSCHUIF	maten in m proto	
	schaal 1:100	A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1431-1103	FIG. 3



VERTIKALE DOORSNEDE



VORMGEVING KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
 BIJ ONDERZOEK

MODELSCHAAL 1:20

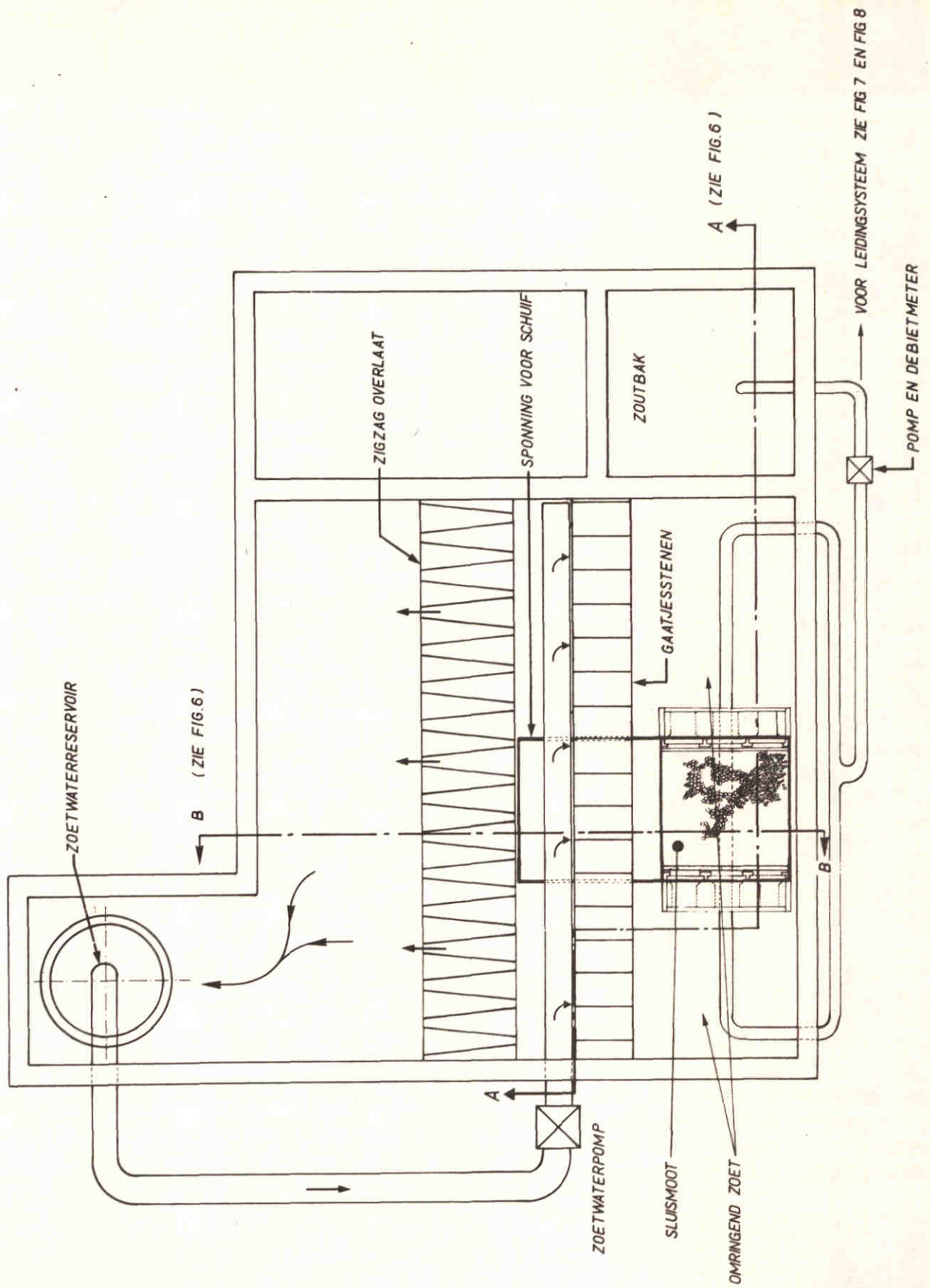
SCHAAL 1:80

A4

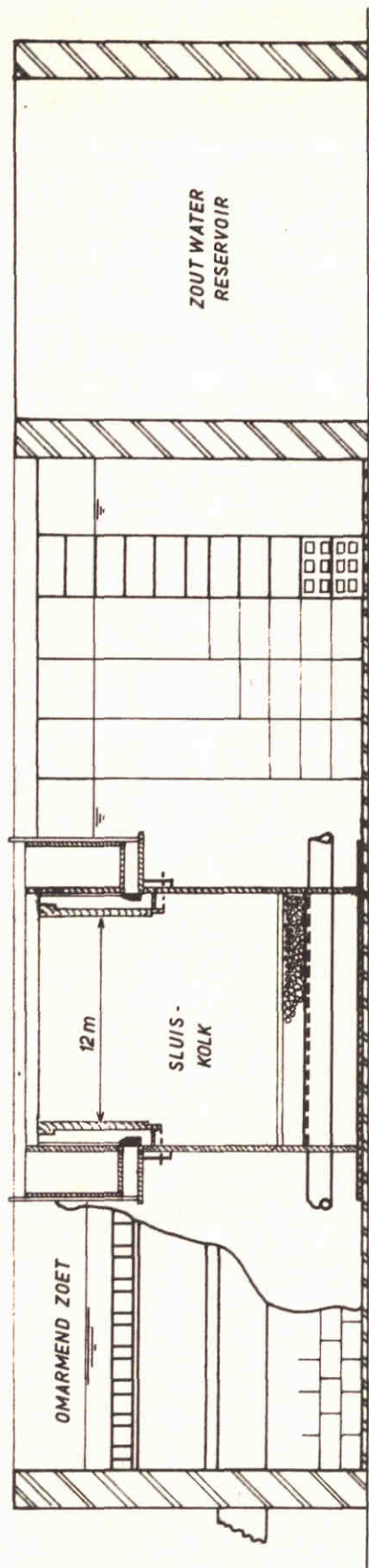
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1431-1104

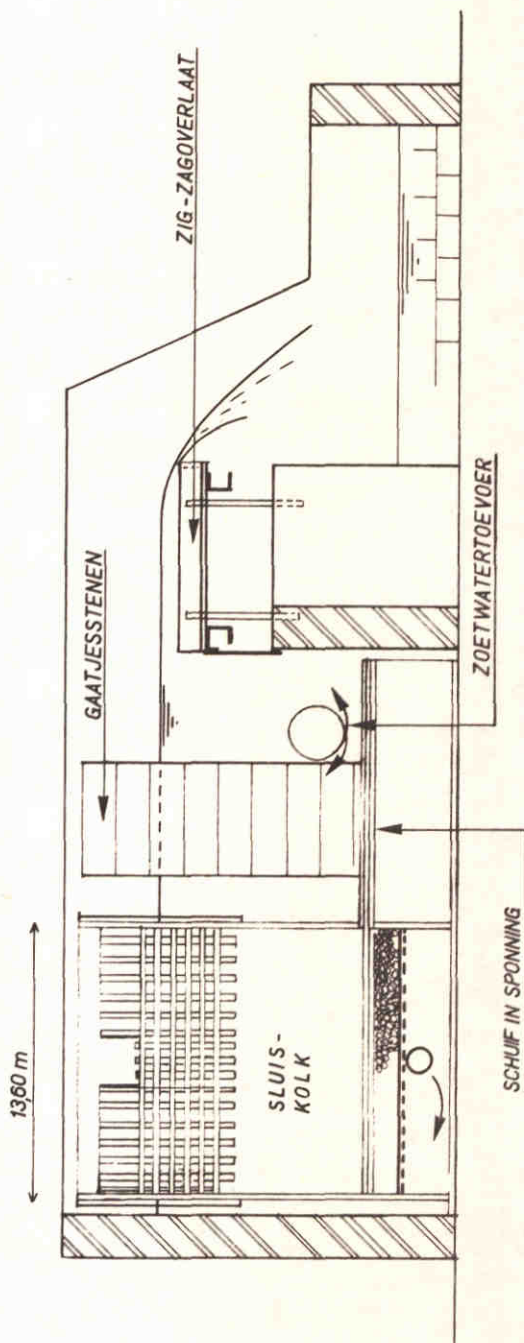
FIG. 4



INRICHTING MODEL (BOVENAANZICHT)



DOORSNEDE A-A (ZIE FIG. 5)



DOORSNEDE B-B (ZIE FIG. 5)

INRICHTINGMODEL (DOORSNEDEN)

MODELSCHAAL 1:20

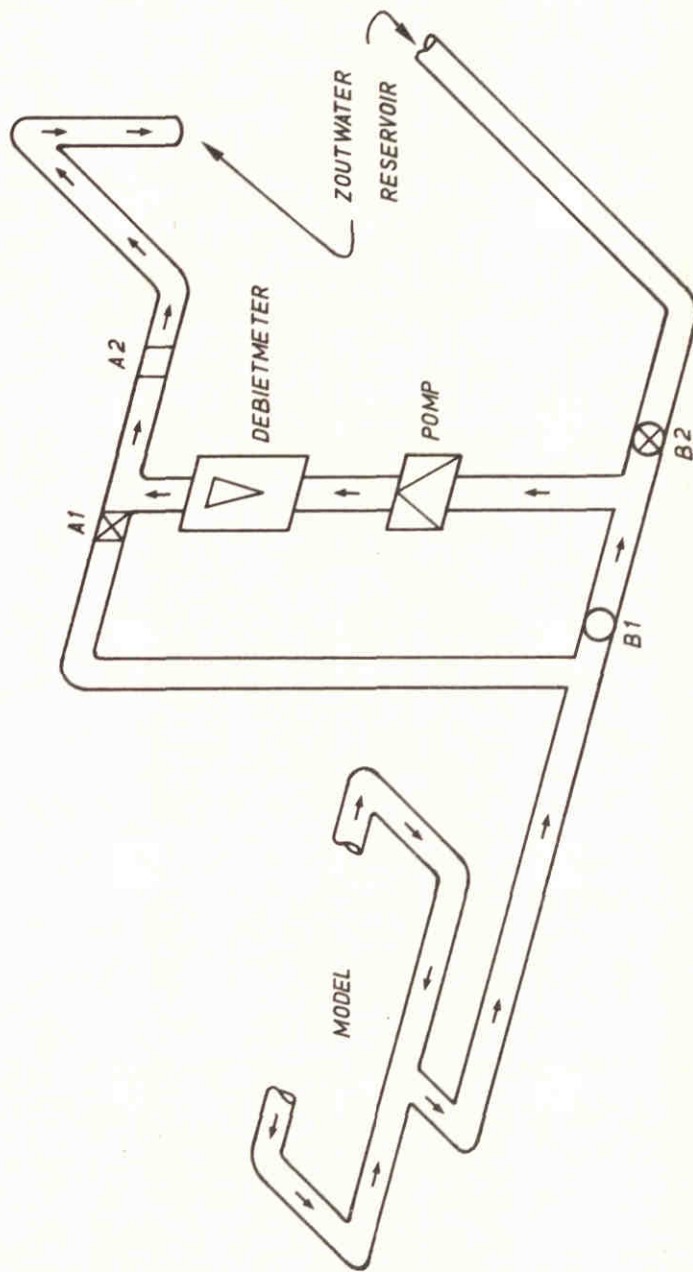
SCHAAL 1:400

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1431-1106

FIG.6



A1 REGELAFSLUITER

A2 3 REGELAFSLUITER

B1 OPEN/DICHTAFSLUITER

B2 OPEN/DICHTAFSLUITER

OPEN

DICHT

4 AFSLUITSTAND 4

POMPSYSTEEM TJDENS NEERWAARTSE UITWISSELINGFASE

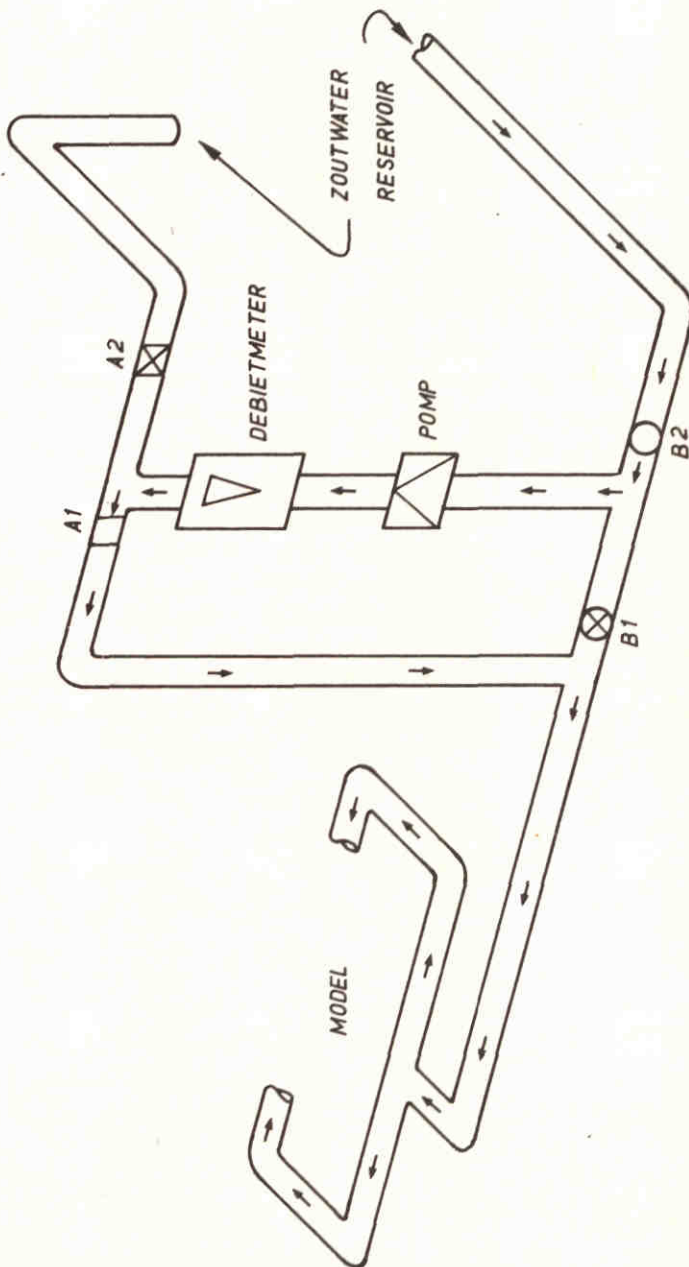
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1107

FIG. 7



A1 2 REGELAFSLUITER

A2 REGELAFSLUITER

B1 OPEN/DICHTAFSLUITER

B2 OPEN/DICHTAFSLUITER

OPEN

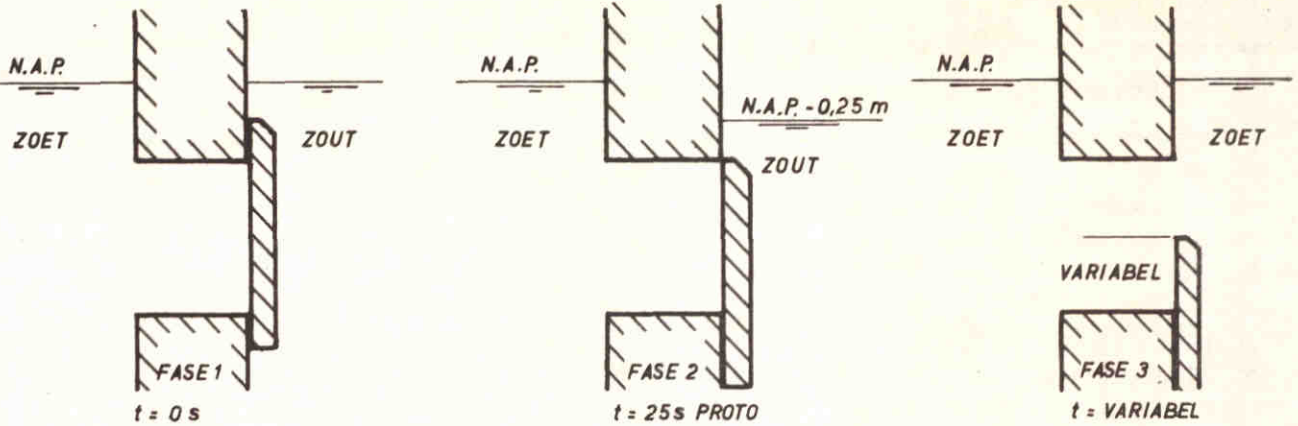
DICHT

4 AFSLUITSTAND 4

POMPSYSTEEM TIJDENS HET OPWAARTSE TERUGWINNEN

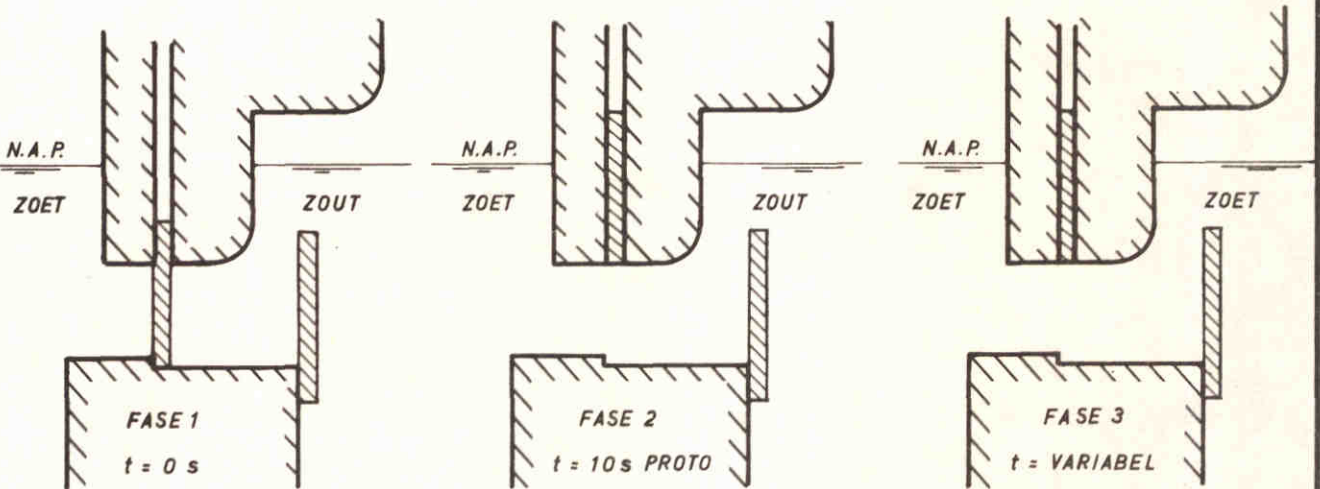
JB

A4



AFDICHTENDE REGELSCHUIF

$$V_{\text{schuif}} = V_{\text{grensvlak}}$$



NIVEAUSCHUIF

$$V_{\text{wandschuif}} \rightarrow \omega$$

- FASE 1 BEGIN VAN DE SCHUIFBEWEGING
- FASE 2 BEGIN ZOETWATERSUPPLETIE DOOR DE KOLKWAND
- FASE 3 NA BEEINDIGING VAN NEERWAARTS UITWISSELEN

SCHUIFSTANDEN IN DE NEERWAARTSE UITWISSELFASE
 VOOR DE KOLKWAND MET NIVEAUSCHUIF EN KOLKWAND
 MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF

JM

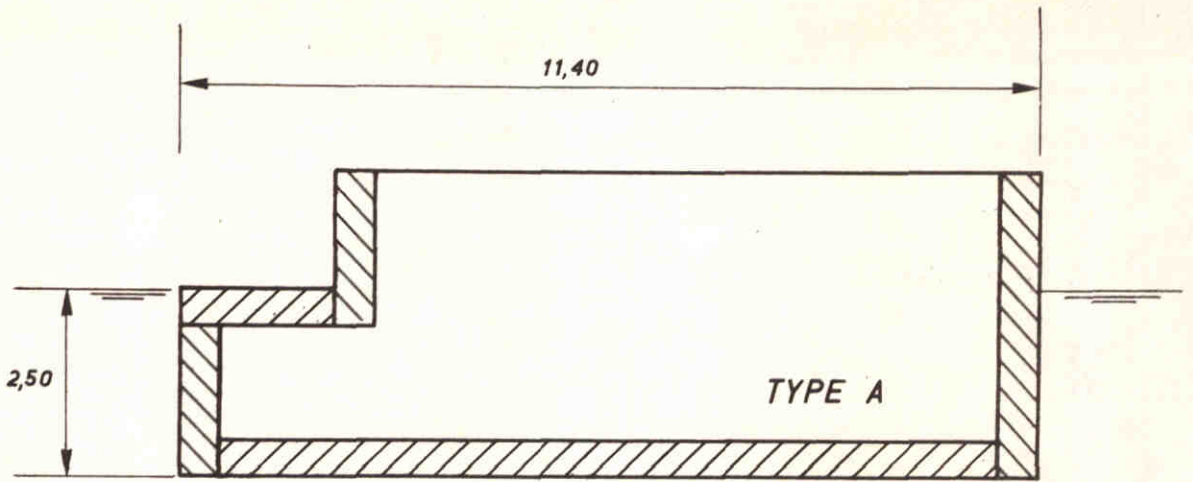
SCHAAL 1:50

A4

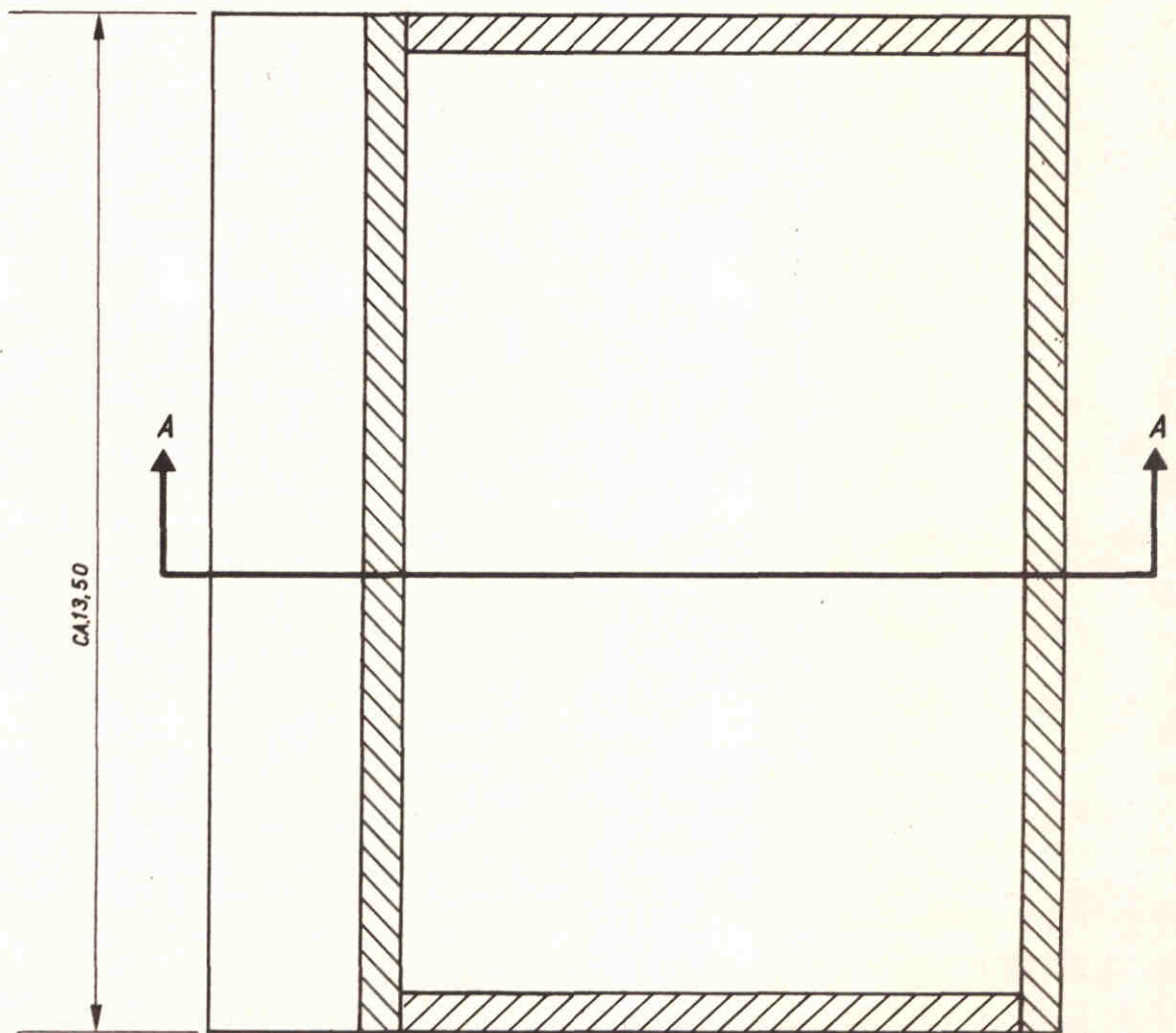
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431 - 1109

FIG. 9



DOORSNEDE A-A



BOVENAANZICHT

MODELSCHIP VORMGEVING „DUWBAK”

MATEN IN m PROTO

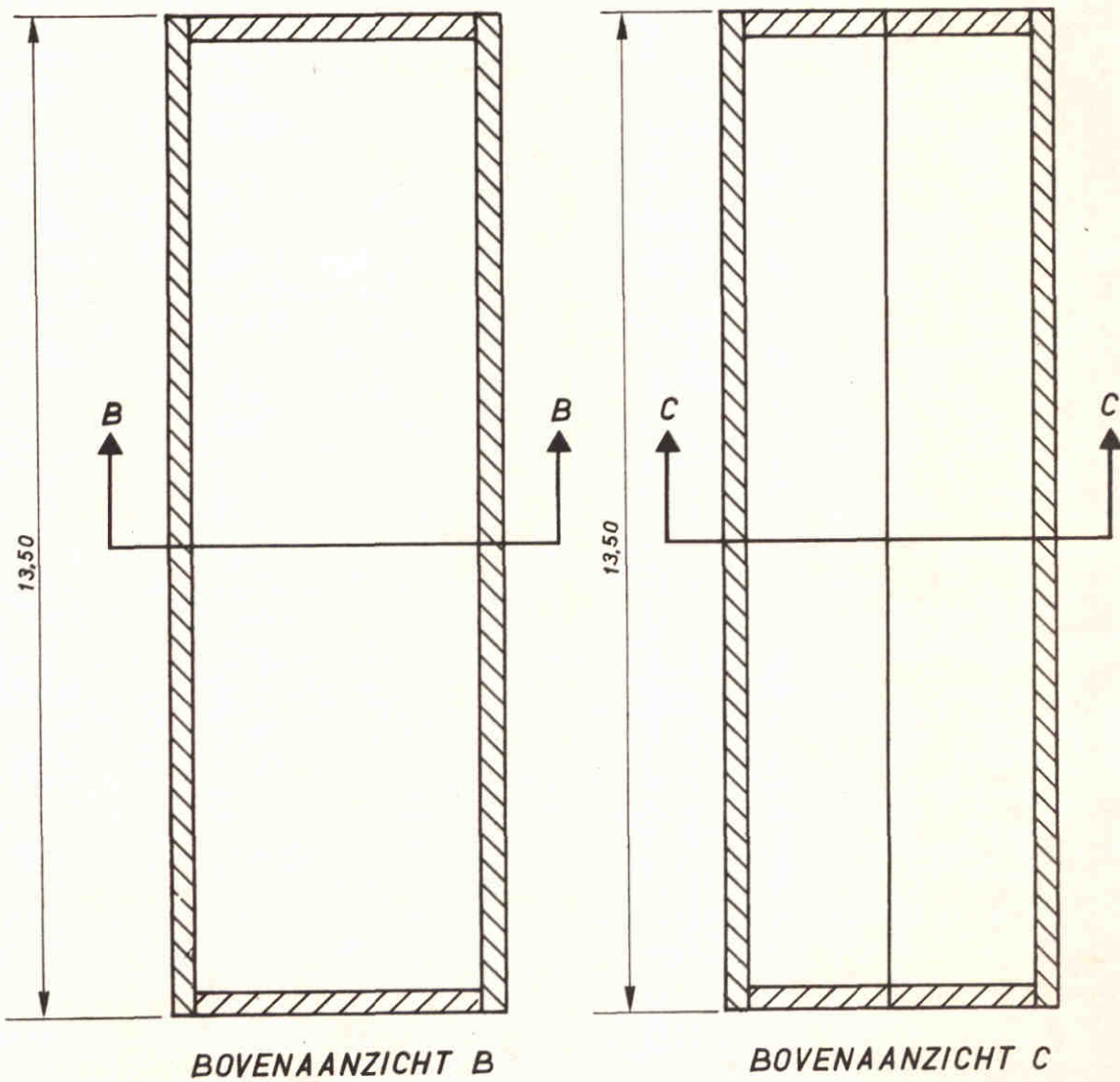
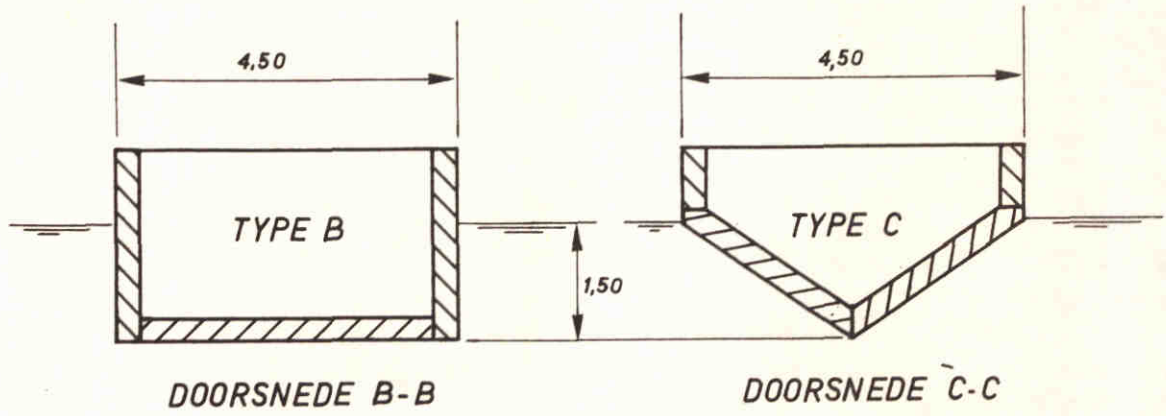
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1110

FIG.10



MODELSCHEPEN VORMGEVING „KOTTER“

MATEN IN m PROTO JM

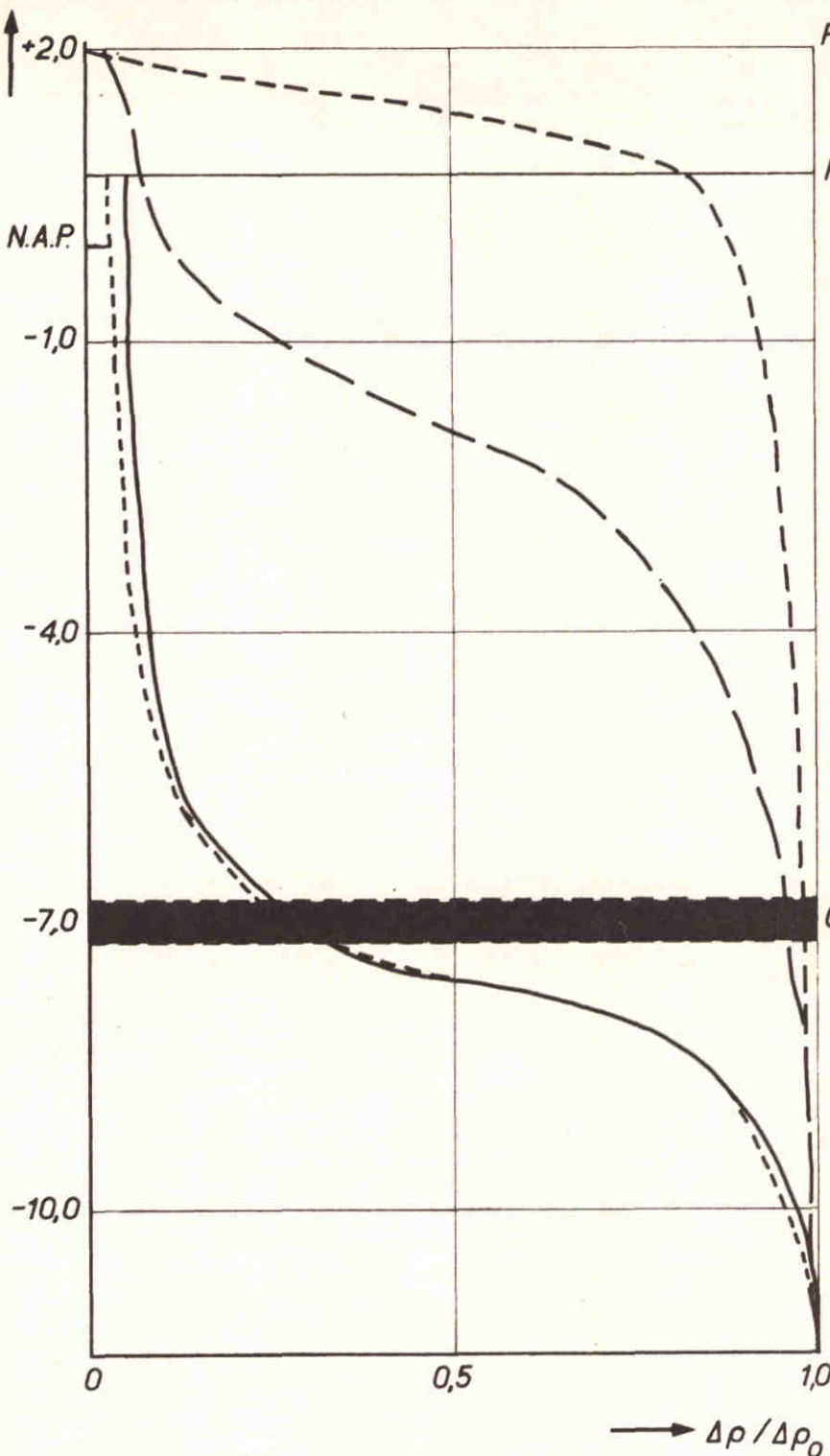
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431 - 1111

FIG.11

PEIL IN m t.o.v. N.A.P.



PEIL ANTWERPS KANAAL

PEIL ZEEUWSE MEER

DICHTHEIDSVerschil
12,0 kg/m³

MAX. UITW. DEBIET (HELE SLUIS)

OMLAAG: 131 m³/s

OMHOOG: 103 m³/s

UITW. PEIL GRENSVLAK

OMLAAG: 7,5 m - N.A.P.

OMHOOG: 3,8 m - N.A.P.

SCHEEPSBEZETTING

GEEN

GEPERFOREERDE BODEM

BODEM

———— VOOR OPENEN ZEEUWSE MEER DEUREN
- - - - NA SLUITEN ZEEUWSE MEER DEUREN

———— VOOR OPENEN ANTWERPS KANAAL DEUREN
- - - - NA SLUITEN ANTWERPS KANAAL DEUREN

DICHTHEIDSVERTIKALEN KREEKRAKONDERZOEK
PROEF M865-100

$\Delta\rho_0 \approx 12 \text{ kg/m}^3$

JB

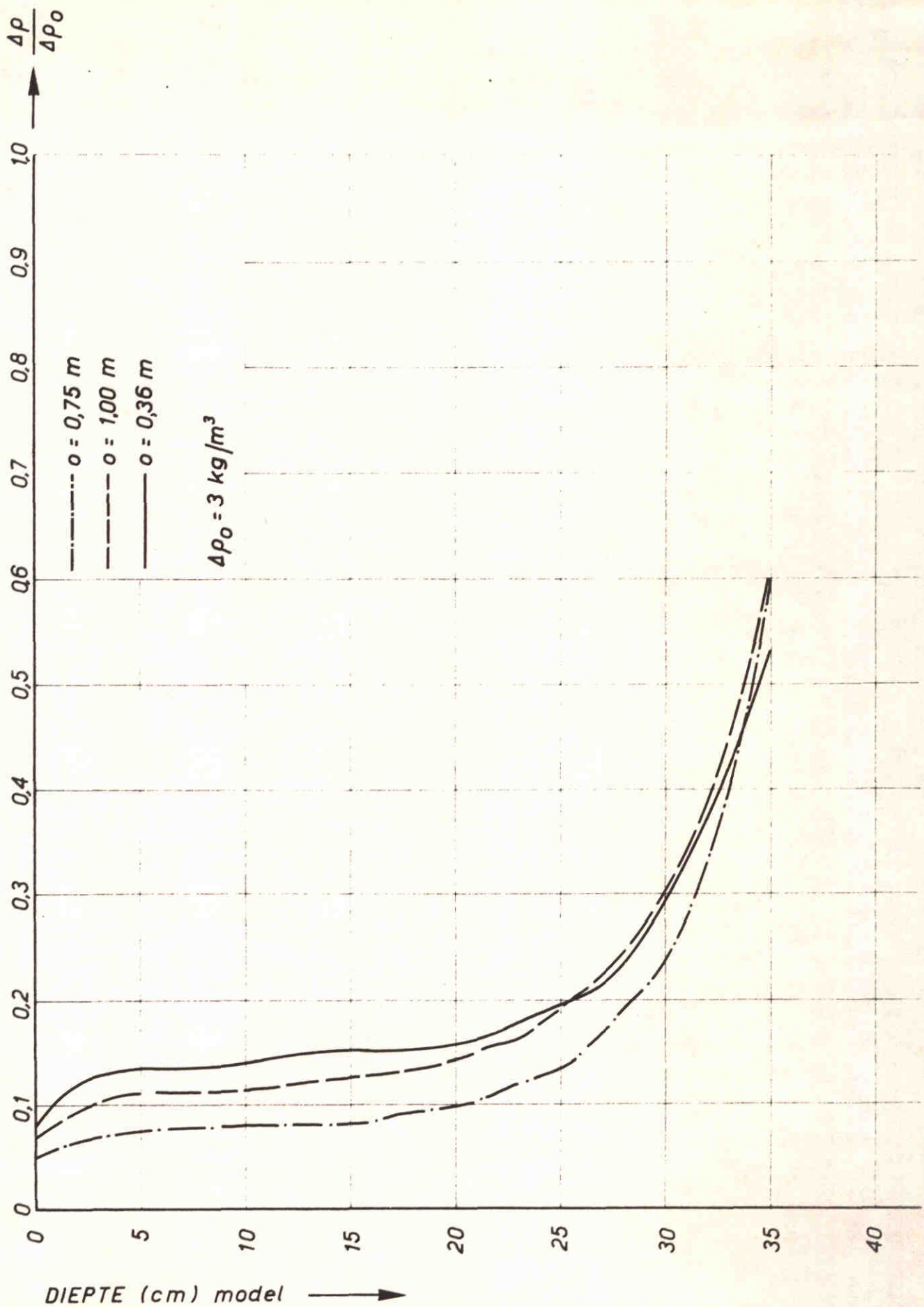
UIT [11]

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1431 - 1112

FIG 12



DICHTHEIDSVERTICALEN KREEKRAGONDERZOEK VOOR
 VERSCHILLENDE WATERSTANDEN (o) BOVEN NIVEAUSCHUIF

UIT [8]

ø

A4

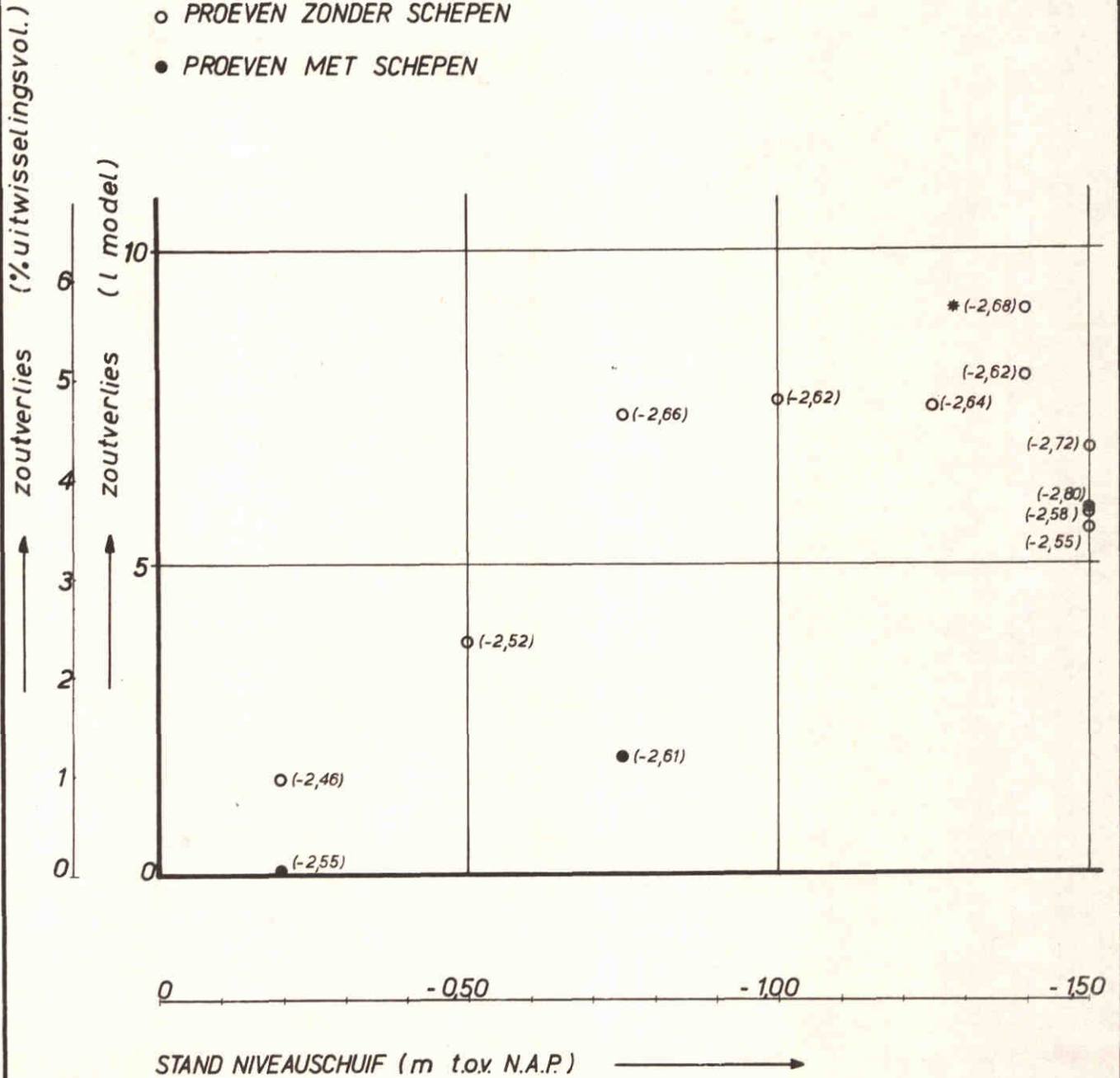
UITWISSELINGSVOLUME IS HET VOLUME TUSSEN N.A.P. EN N.A.P. -6,25 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,68 m)

WATERSTAND BIJ OPENEN WANDSCHUIF \approx N.A.P.

○ PROEVEN ZONDER SCHEPEN

● PROEVEN MET SCHEPEN



ZOUTVERLIES ALS FUNCTIE VAN DE STAND
VAN DE NIVEAUSCHUIF

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

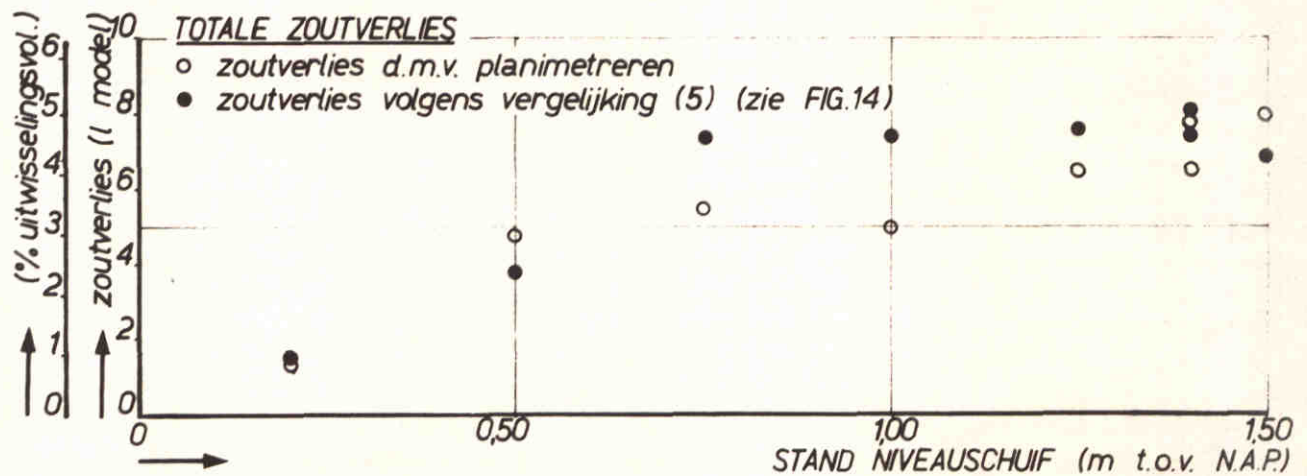
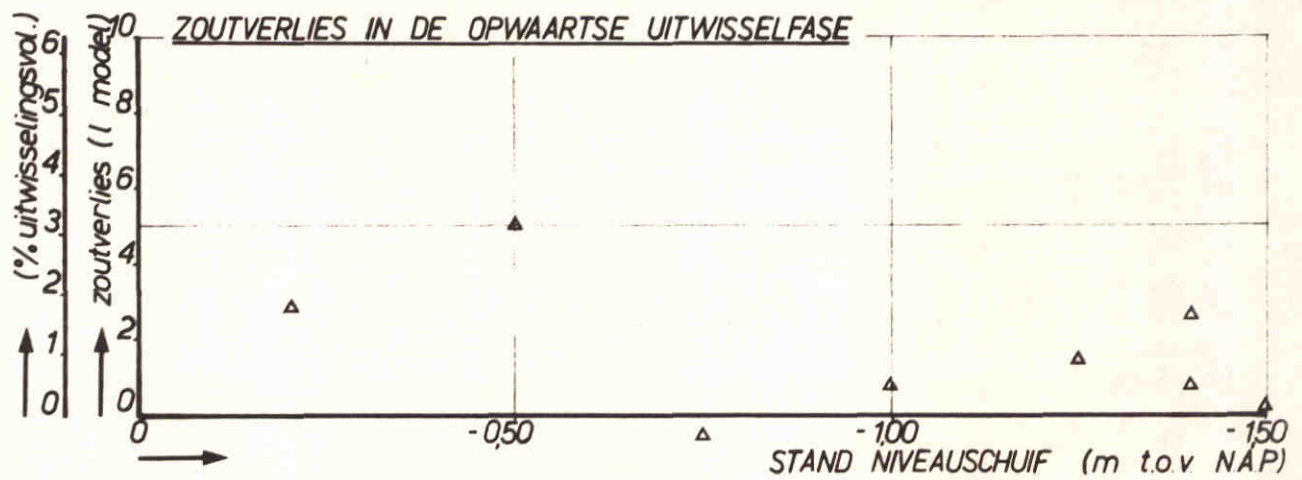
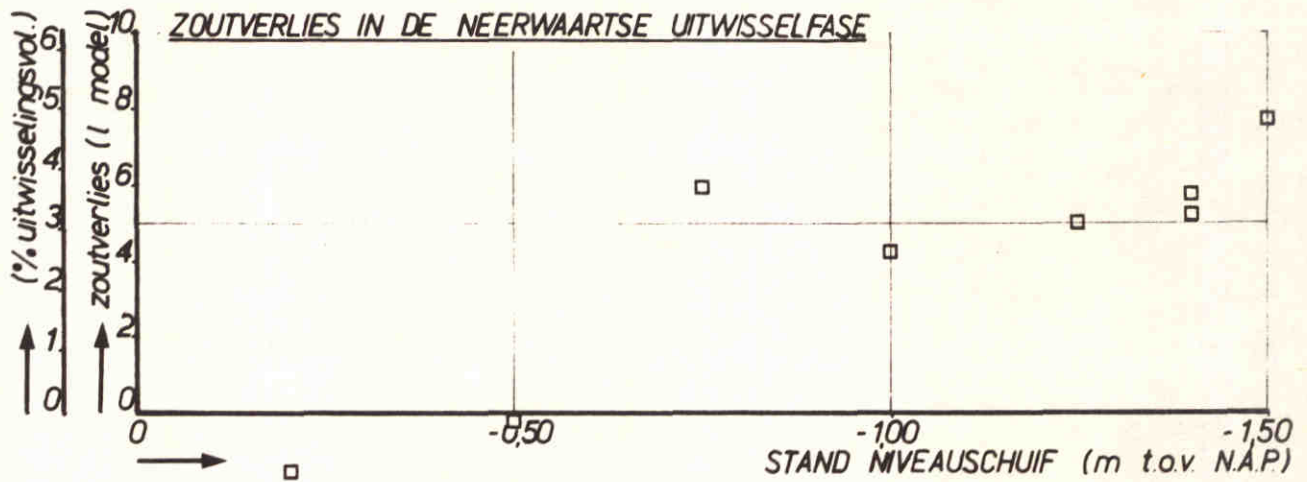
$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431 - 1114

FIG.14



PROEVEN ZONDER SCHEPEN

BEPALING VAN HET ZOUTVERLIES NA HET NEERWAARTS EN
OPWAARTS UITWISSELEN DOOR MIDDEL VAN HET PLANIMETREREN
VAN DICHTHEIDSVERTICALEN

$\Delta \rho = 20 \text{ kg/m}^3$

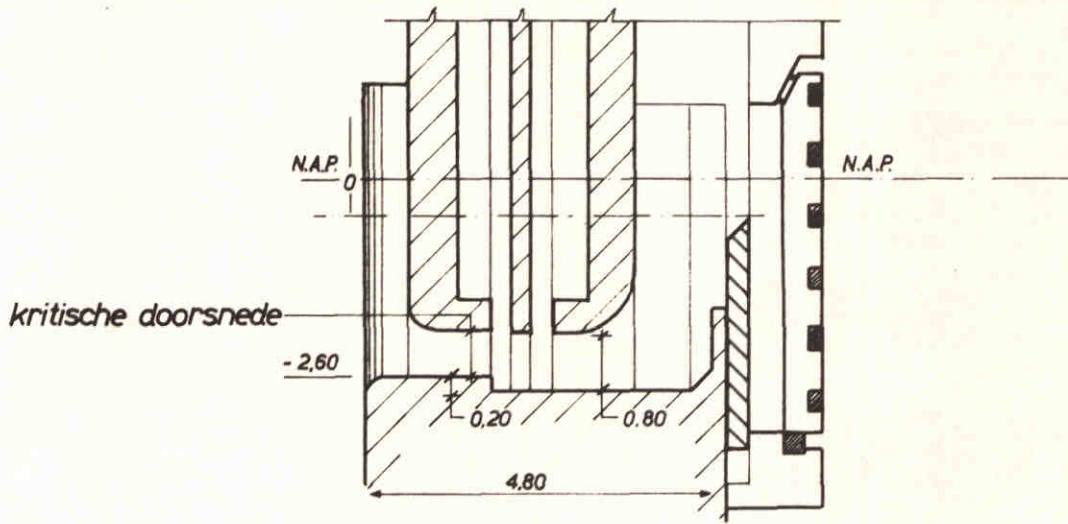
$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

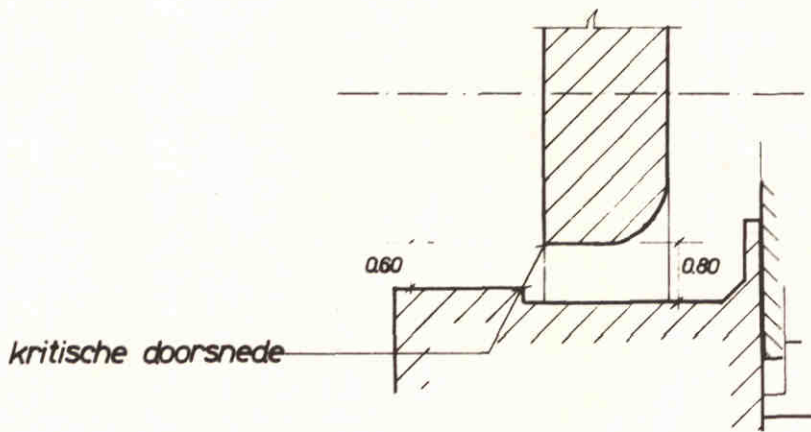
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431 - 1115

FIG.15



VORMGEVING PROTOTYPE



SCHEMATISATIE MODEL

DOORSNEDE KOLKWANDRIOOL BIJ KOLKWAND MET NIVEAUSCHUIF

SCHAAL 1 : 100

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

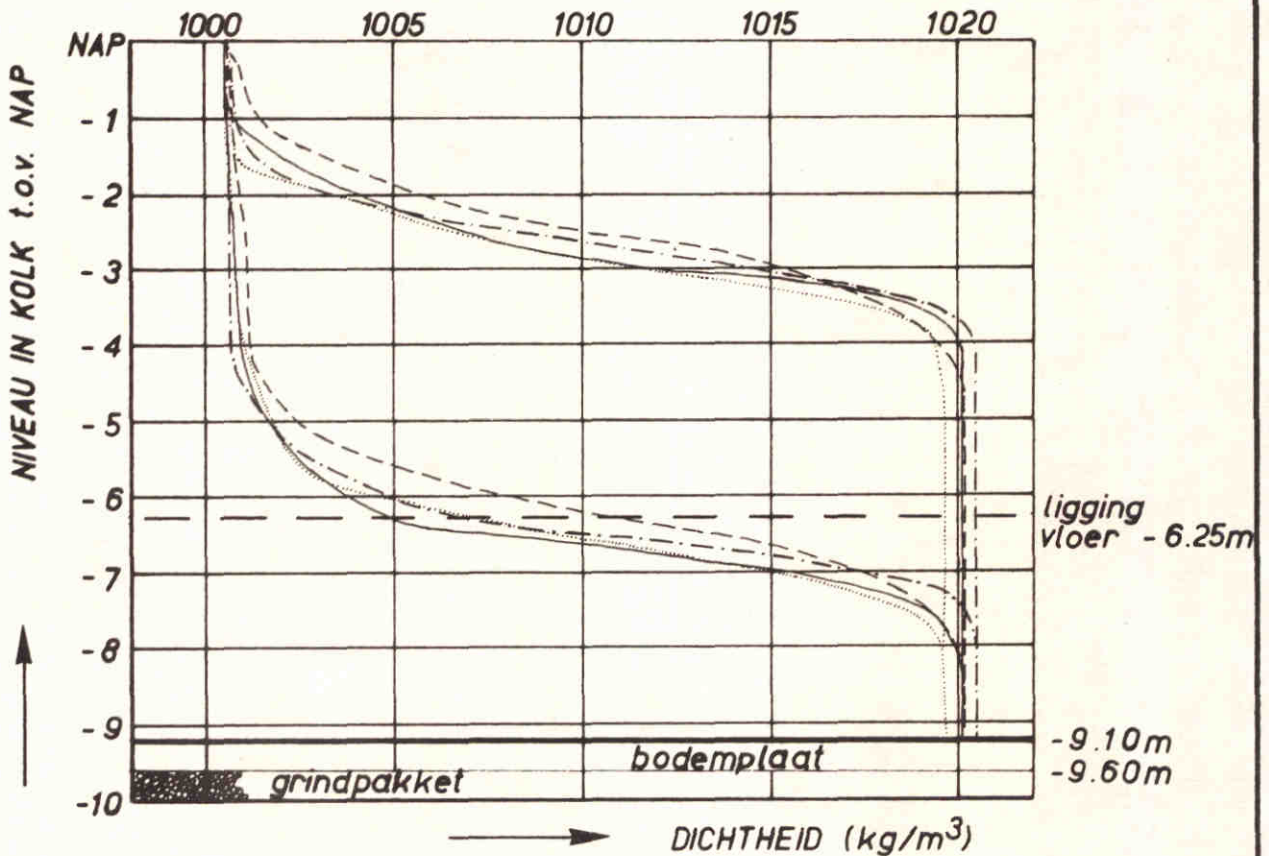
M 1431 - 1116

FIG. 16

N.A.P. - 0.20 m PROEF 108 (-2,46)*
 N.A.P. - 0.75 m PROEF 106 (-2,66)
 N.A.P. - 1.25 m PROEF 127 (-2,64)
 N.A.P. - 1.50 m PROEF 109^c(-2,72)

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,46 m)

WATERSTAND OPENEN NIVEAUSCHUIF ≈ N.A.P.



PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET NIVEAUSCHUIF INVLOED STAND NIVEAUSCHUIF	$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$	
	$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$	A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1431-1117	FIG 17

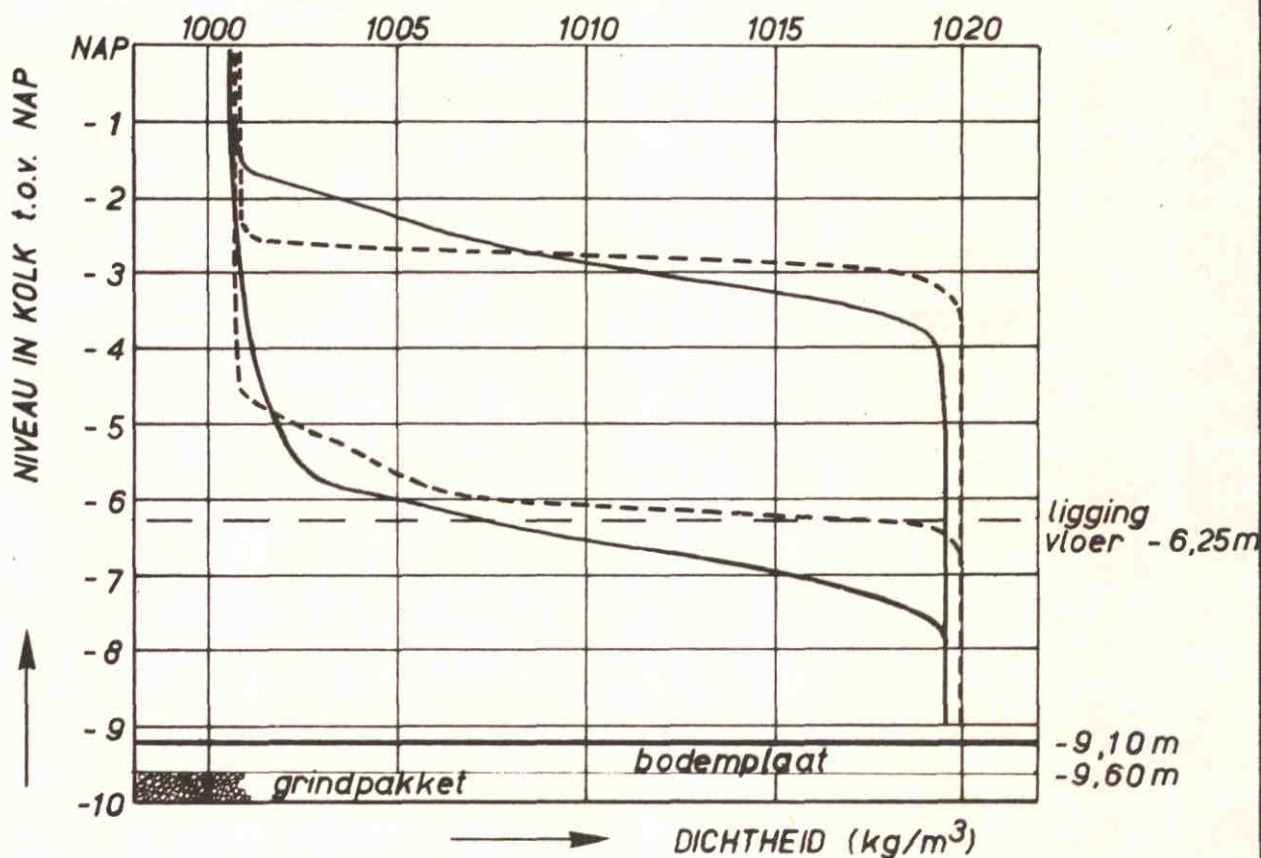
STAND NIVEAUSCHUIF

N.A.P. -1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,72 m)

WATERSTAND OPENEN NIVEAUSCHUIF

≈ N.A.P.



— PROEF 109^c ZONDER SCHEPEN (-2,72) *

- - - PROEF 111^b MET SCHEPEN (-2,80)

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET NIVEAUSCHUIF
INVLOED SCHEPEN

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1118

FIG 18

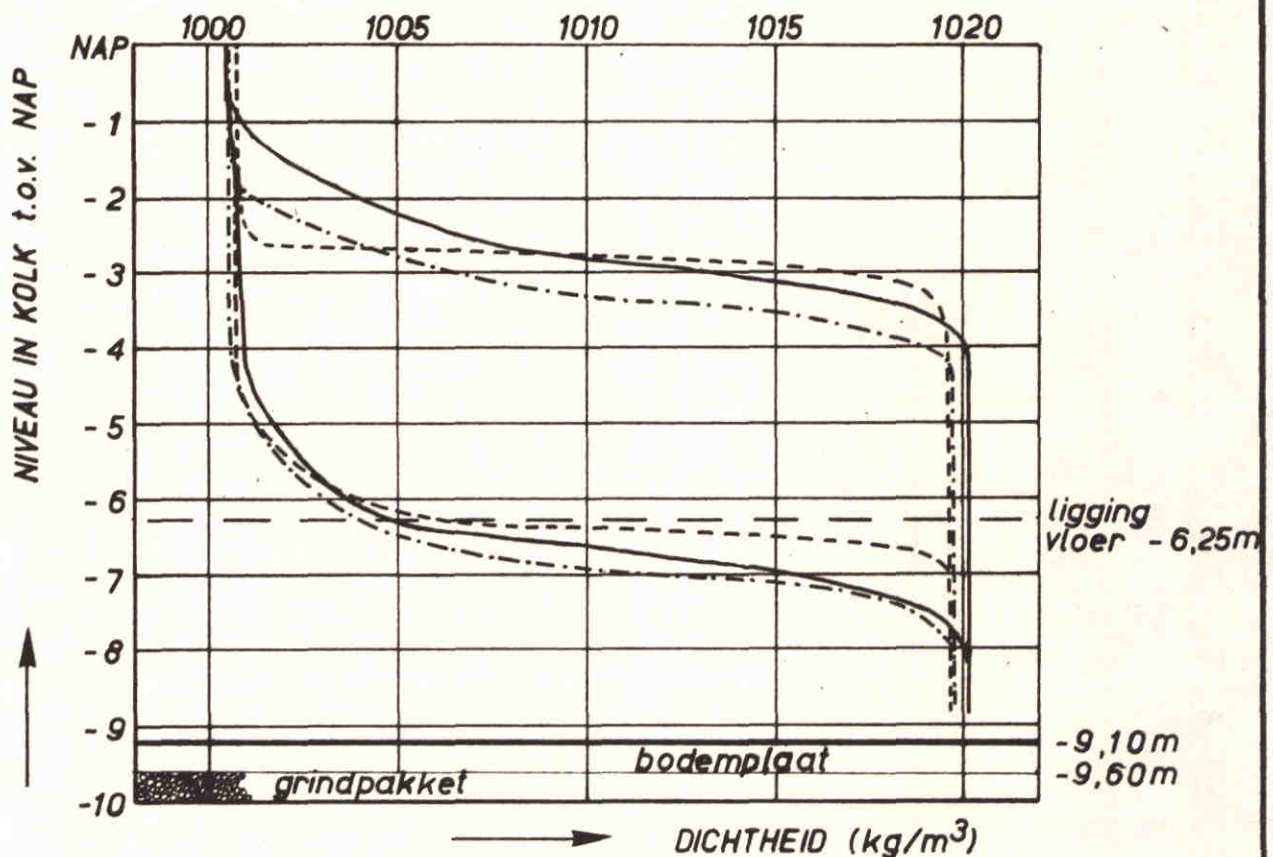
STAND NIVEAUSCHUIF

N.A.P. - 0,75 m

*THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,66 m)

WATERSTAND OPENEN NIVEAUSCHUIF

≈ N.A.P.



- GEEN SCHEPEN PROEF 106 (-2,66)*
- - - SCHIP $b=11,40\text{m}$ PROEF 103^b (-2,61)
- · - · - SCHIP $b=4,50\text{m}$ PROEF 116 (-3,06)

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET NIVEAUSCHUIF
INVLOED SCHEPEN

$\Delta\rho = 20\text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01\text{m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1119

FIG. 19

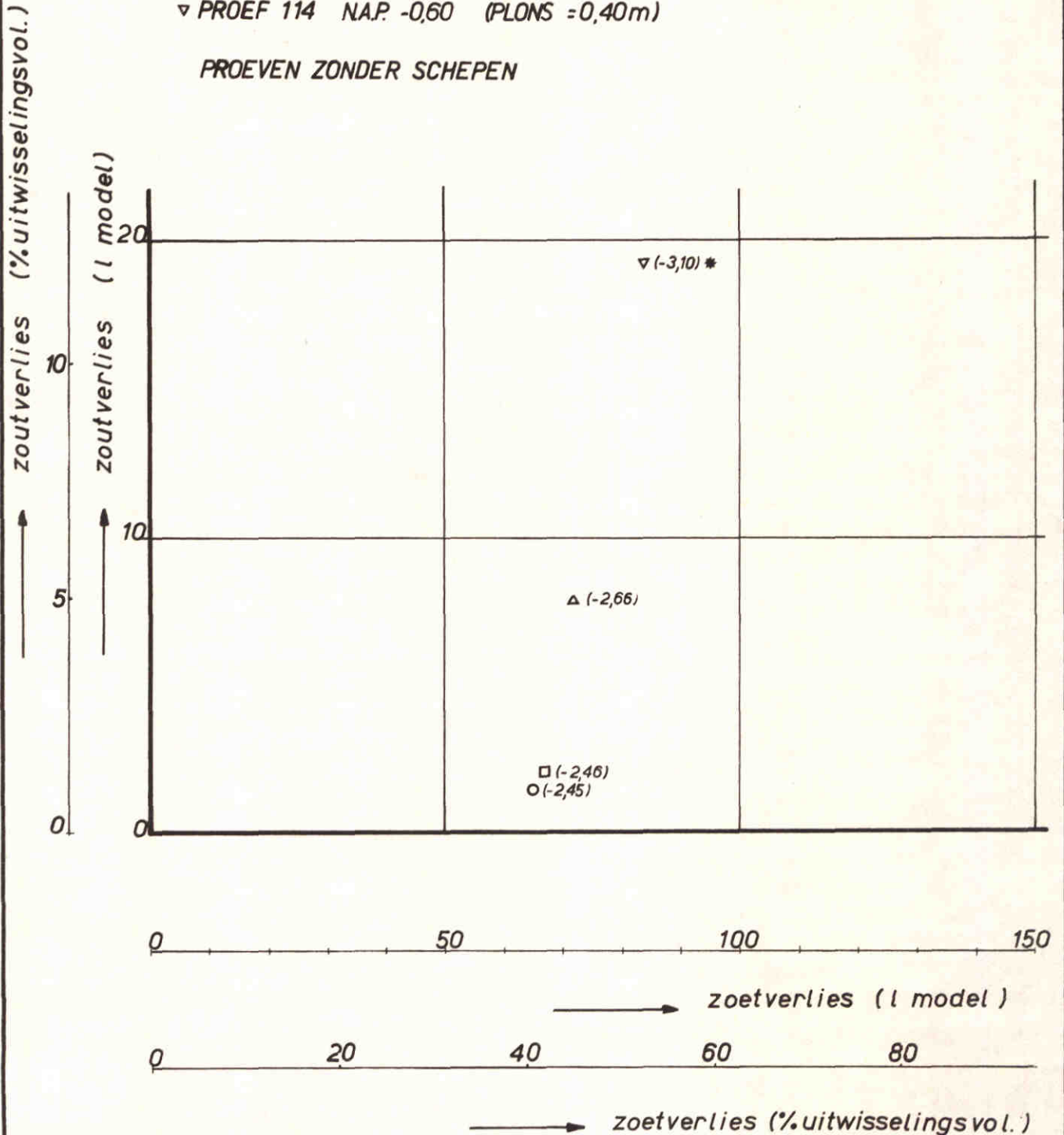
UITWISSELINGSVOLUME IS HET VOLUME TUSSEN N.A.P. EN N.A.P. -6,25 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 3,10 m)

WATERSTAND BIJ OPENEN WANDSCHUIF

- PROEF 108 N.A.P. (GEEN VERVAL)
- PROEF 113 N.A.P. -0,20 (PLONS = 0,00 m)
- △ PROEF 115 N.A.P. -0,40 (PLONS = 0,20 m)
- ▽ PROEF 114 N.A.P. -0,60 (PLONS = 0,40 m)

PROEVEN ZONDER SCHEPEN



INVLOED VAN PLONSEN OP HET ZOUTVERLIES /
ZOUTVERLIES BIJ EEN STAND VAN DE NIVEAUSCHUIF
VAN N.A.P. -0,20 m

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431 - 1120

FIG. 20

STAND NIVEAUSCHUIF

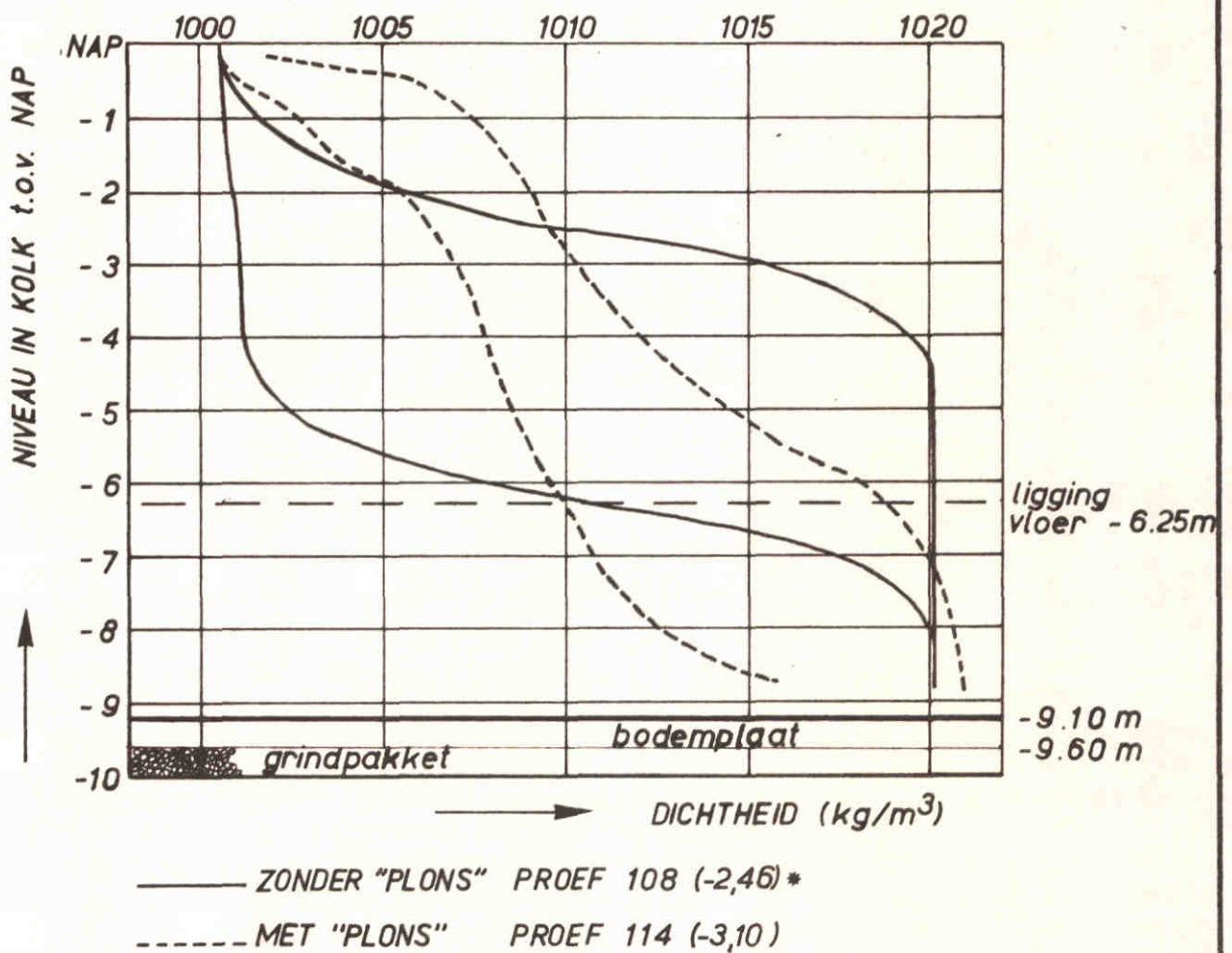
N.A.P. -0,20 m

*THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,46 m)

WATERSTAND OPENEN NIVEAUSCHUIF

N.A.P.

N.A.P. -0,60 m



DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET NIVEAUSCHUIF
INVLOED PLONSEN

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1121

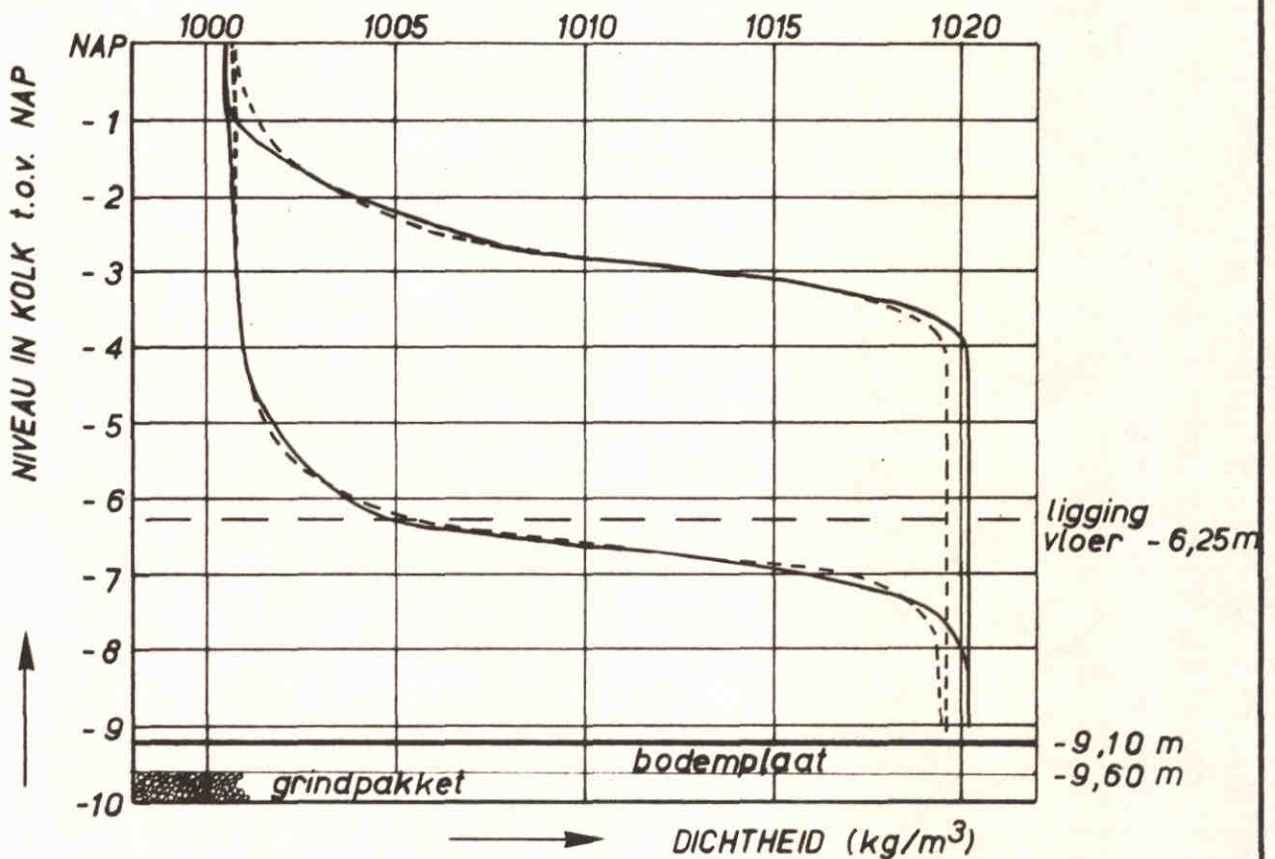
FIG.21

STAND NIVEAUSCHUIF

N.A.P. - 0,75 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,66 m)

WATERSTAND OPENEN NIVEAUSCHUIF \approx N.A.P.



———— TWEEZIJDIG UITWISSELEN PROEF 106 (-2,66) *
----- EENZIJDIG UITWISSELEN PROEF 150 (-2,60)

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET NIVEAUSCHUIF
INVLOED EENZIJDIG UITWISSELEN

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1122

FIG.22

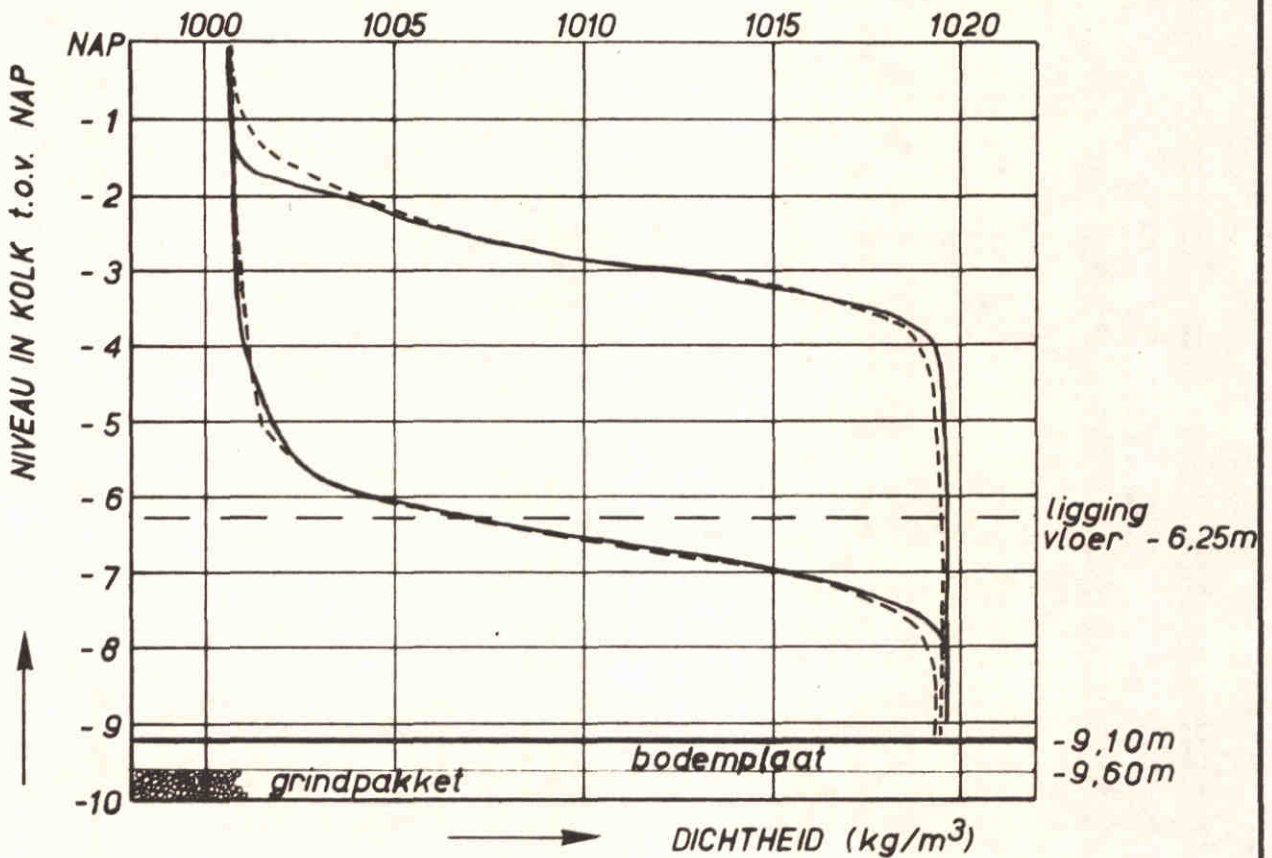
STAND NIVEAUSCHUIF

N.A.P. - 1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,72 m)

WATERSTAND OPENEN NIVEAUSCHUIF

≈ N.A.P.



———— TWEEZIJDIG UITWISSELEN PROEF 109^C (-2,72) *

----- EENZIJDIG UITWISSELEN PROEF 151 (-2,60)

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET NIVEAUSCHUIF
INVLOED EENZIJDIG UITWISSELEN

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

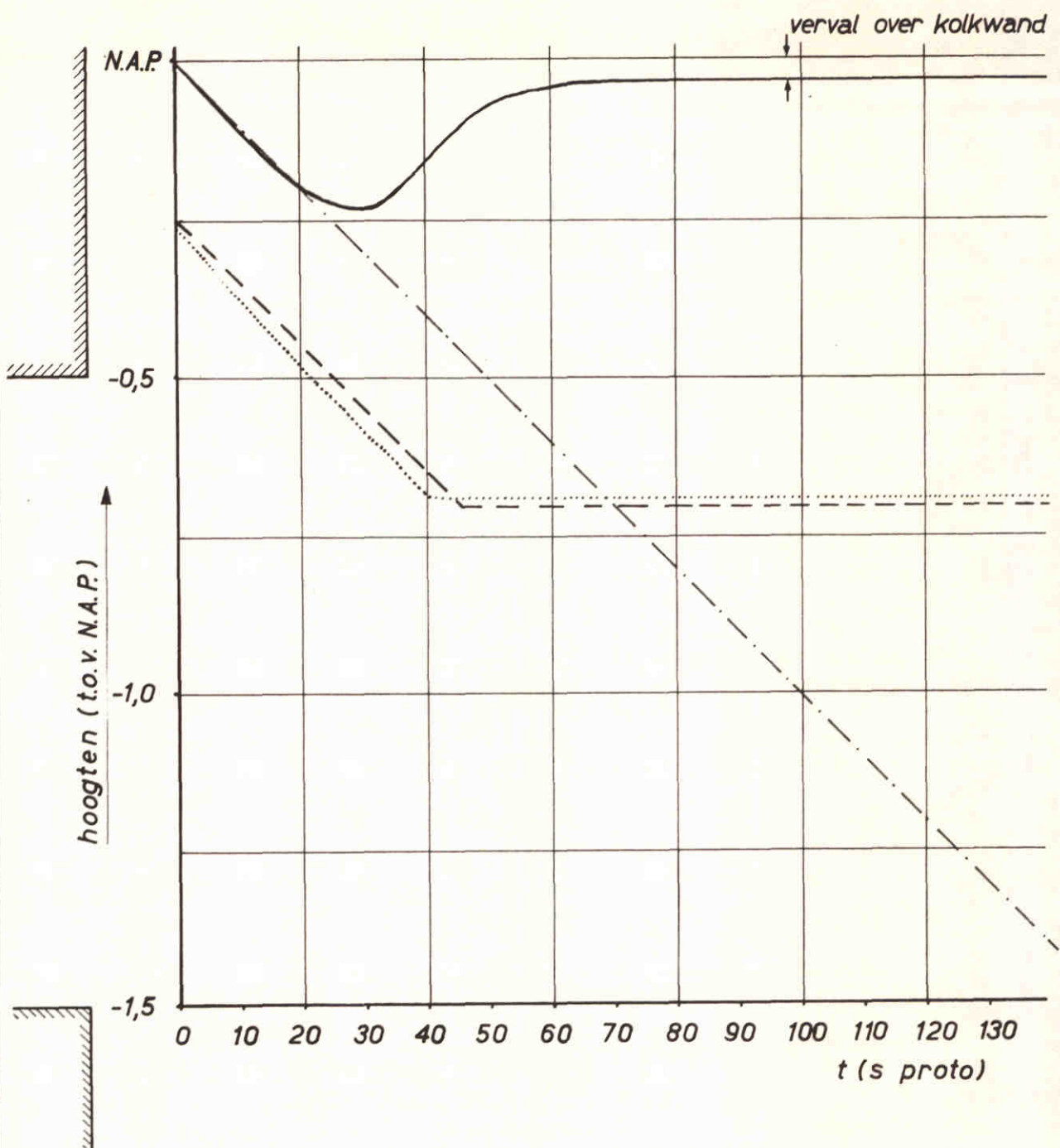
$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431- 1123

FIG. 23



- *Beweging waterstand kolk.*
- *Gewenste schuifbeweging.*
- *Optredende schuifbeweging.*
- · - · - · *Theoretisch niveau grensvlak.*

BEWEGING AFDICHTENDE REGELSCHUIF EN WATERNIVEAU
 IN KOLK BIJ SCHUIFBEWEGING TOT N.A.P. -0,70m

PROEF 200^b

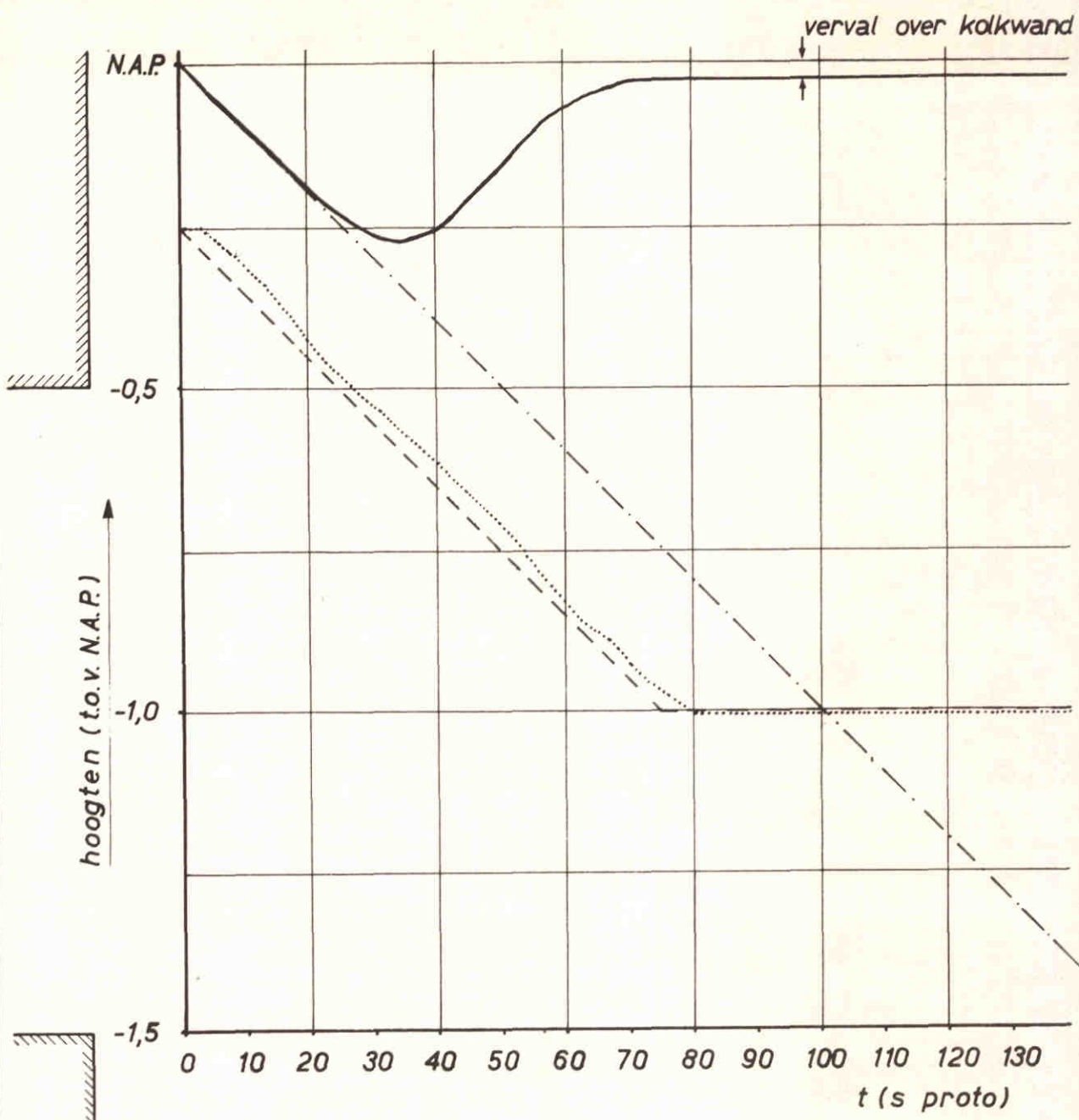
$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431-1124

FIG. 24



- *Beweging waterstand kolk.*
- *Gewenste schuifbeweging.*
- *Optredende schuifbeweging.*
- . - . - *Theoretisch niveau grensvlak.*

BEWEGING AFDICHTENDE REGELSCHUIF EN WATERNIVEAU
 IN KOLK BIJ SCHUIFBEWEGING TOT N.A.P. -1,00 m

PROEF 201^c

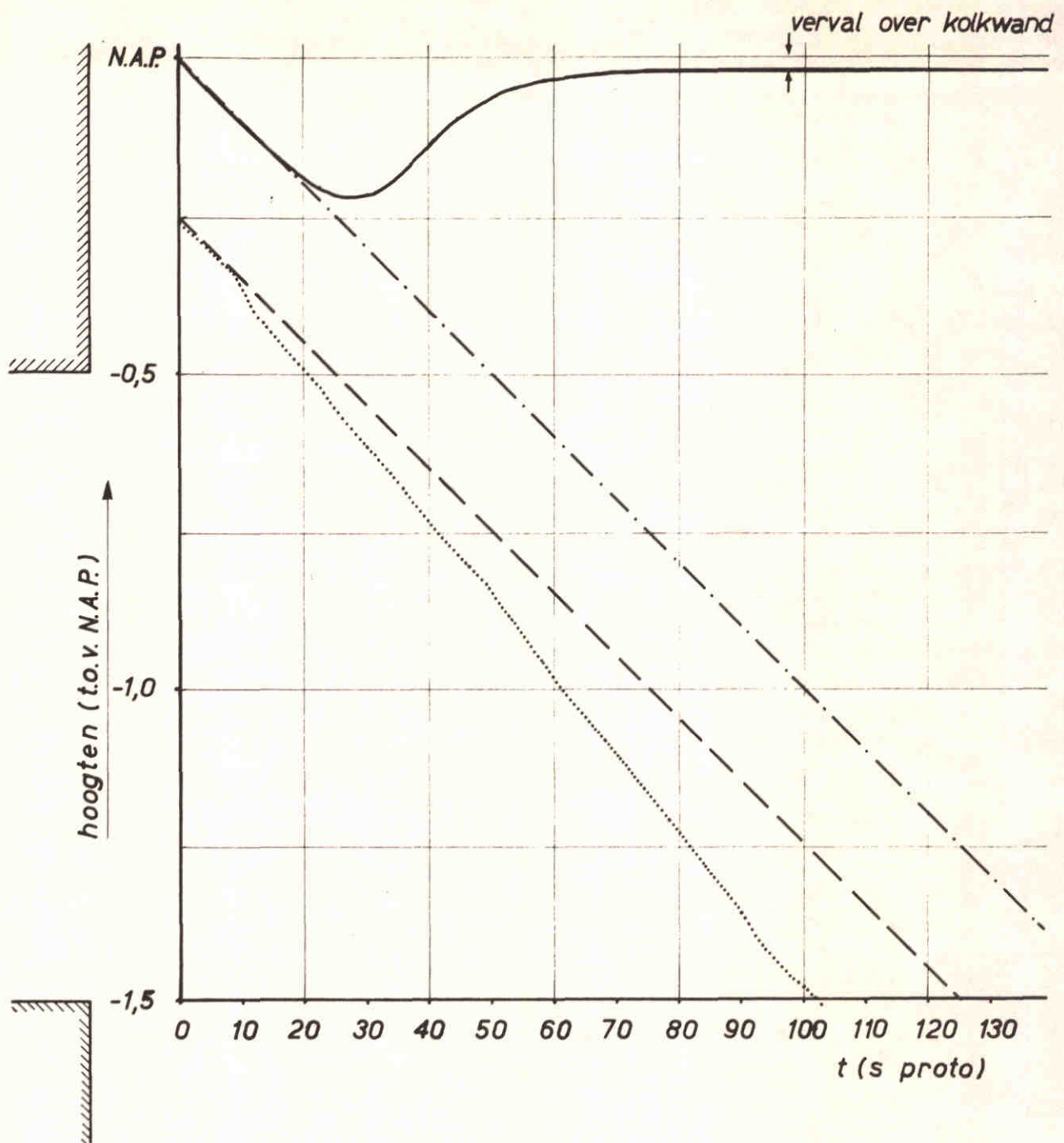
$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431-1125

FIG.25



- *Beweging waterstand kolk.*
- *Gewenste schuifbeweging.*
- *Optredende schuifbeweging.*
- · - · - *Theoretisch niveau grensvlak.*

BEWEGING AFDICHTENDE REGELSCHUIF EN WATERNIVEAU
 IN KOLK BIJ SCHUIFBEWEGING TOT N.A.P. -1,50 m

PROEF 241

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431-1126

FIG. 26

STAND REGELSCHUIF

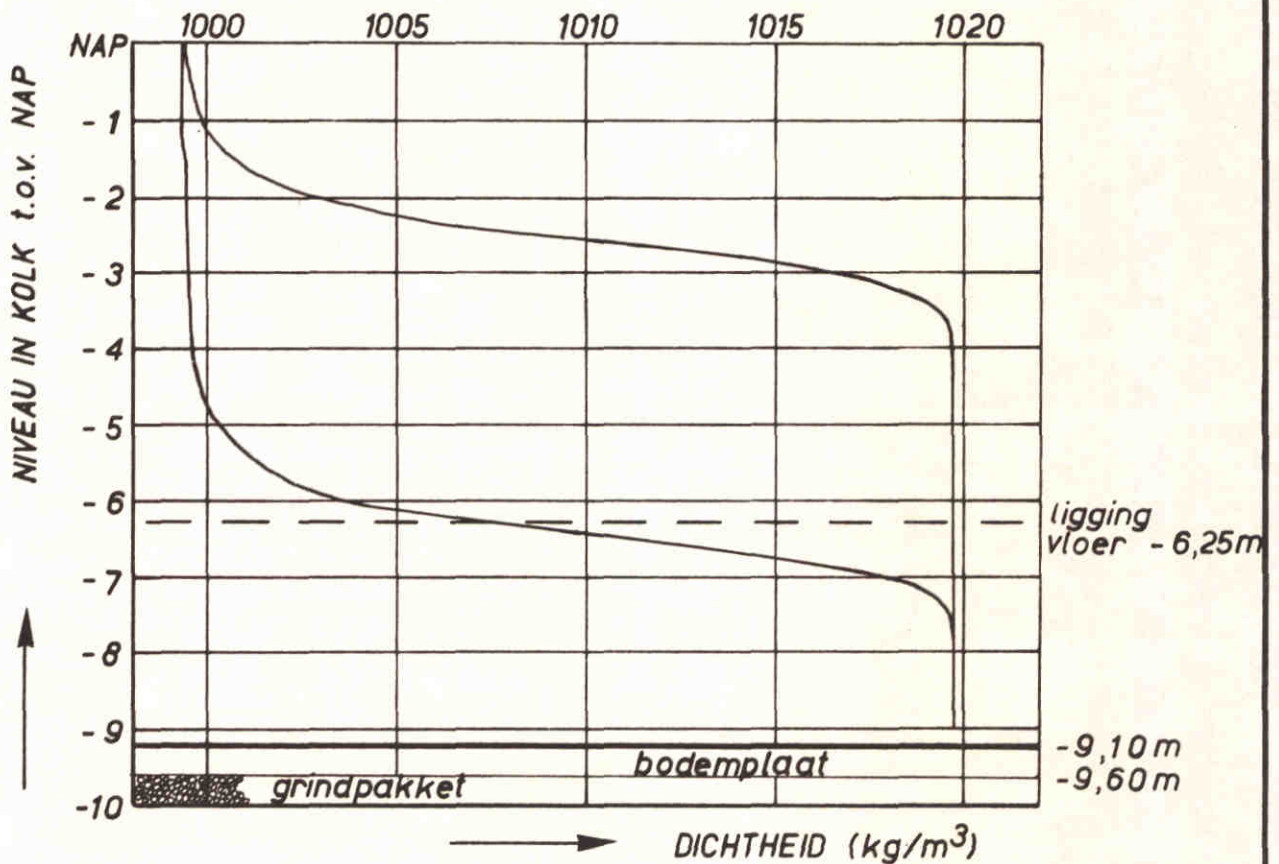
N.A.P. -0,70 m

THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU

N.A.P. -2,48 m

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF

PROEF 200^b

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1127

FIG. 27

STAND REGELSCHUIF

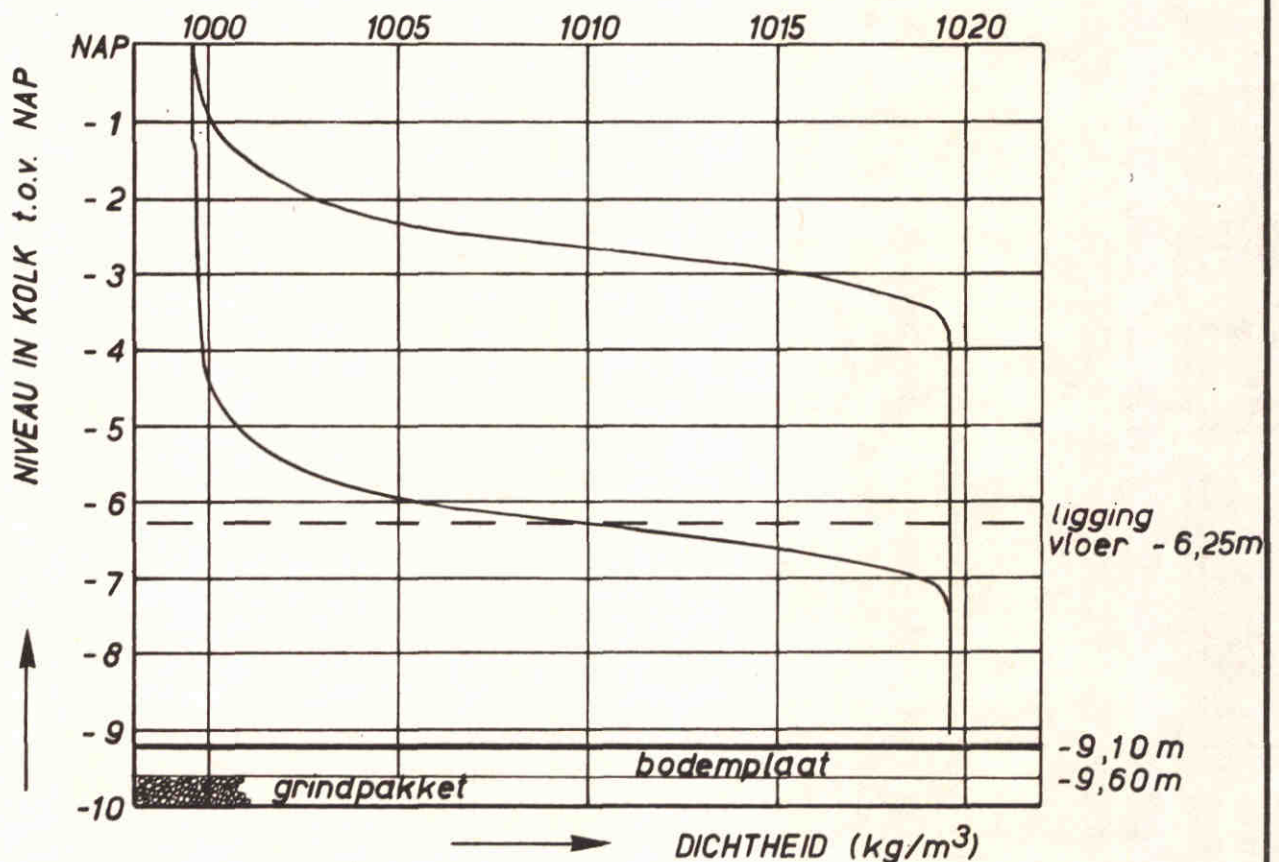
N.A.P. -1,00 m

THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU

N.A.P. -2,49 m

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF

PROEF 201^c

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A₄

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1128

FIG. 28

STAND REGELSCHUIF

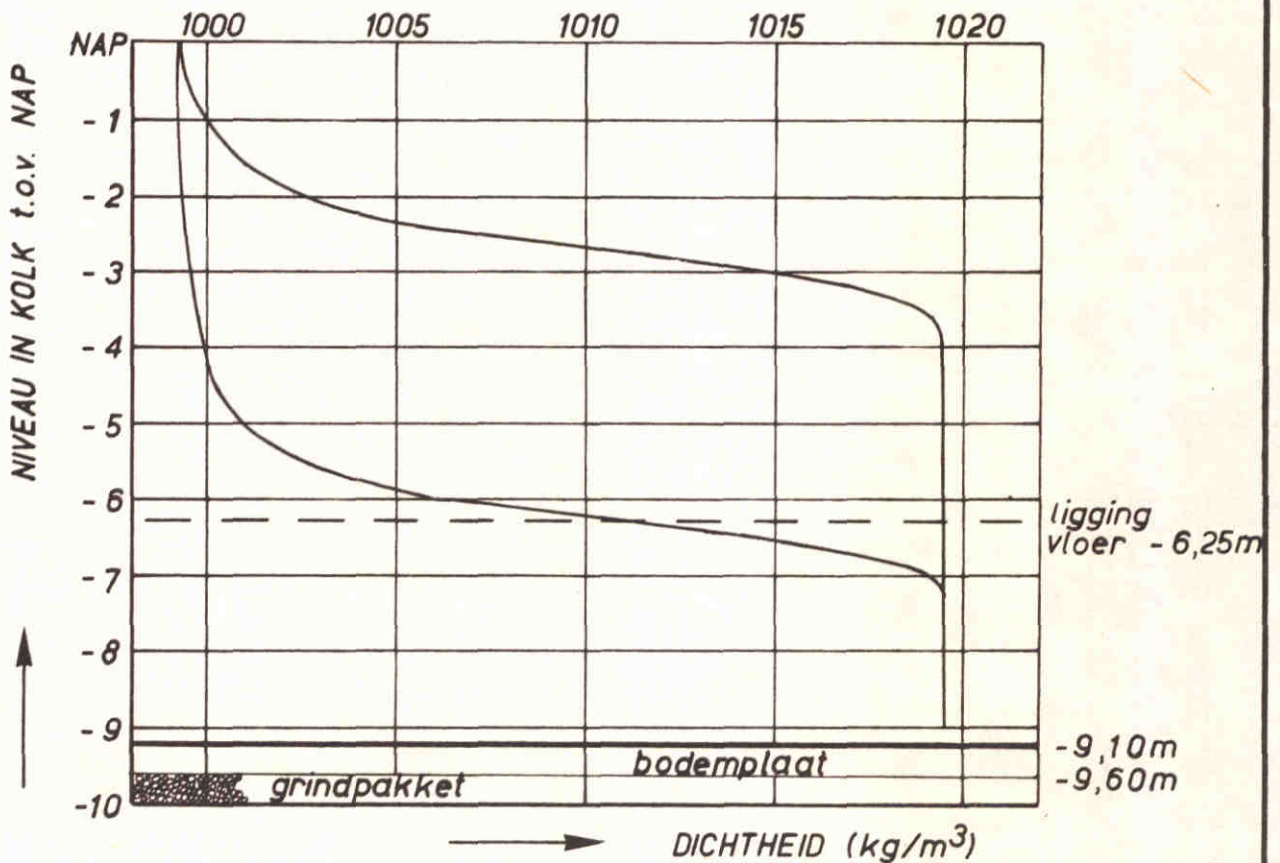
N.A.P. -1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU

N.A.P. -2,54 m

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
PROEF 202

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

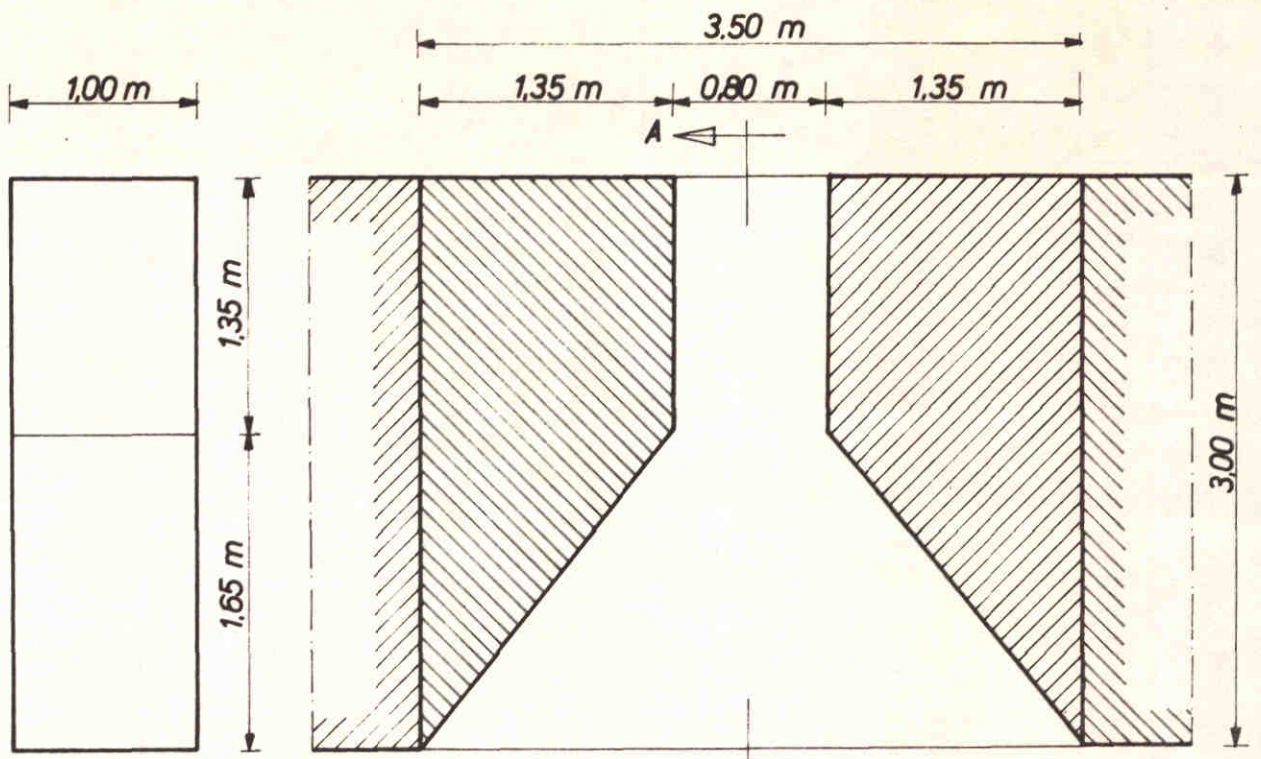
$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

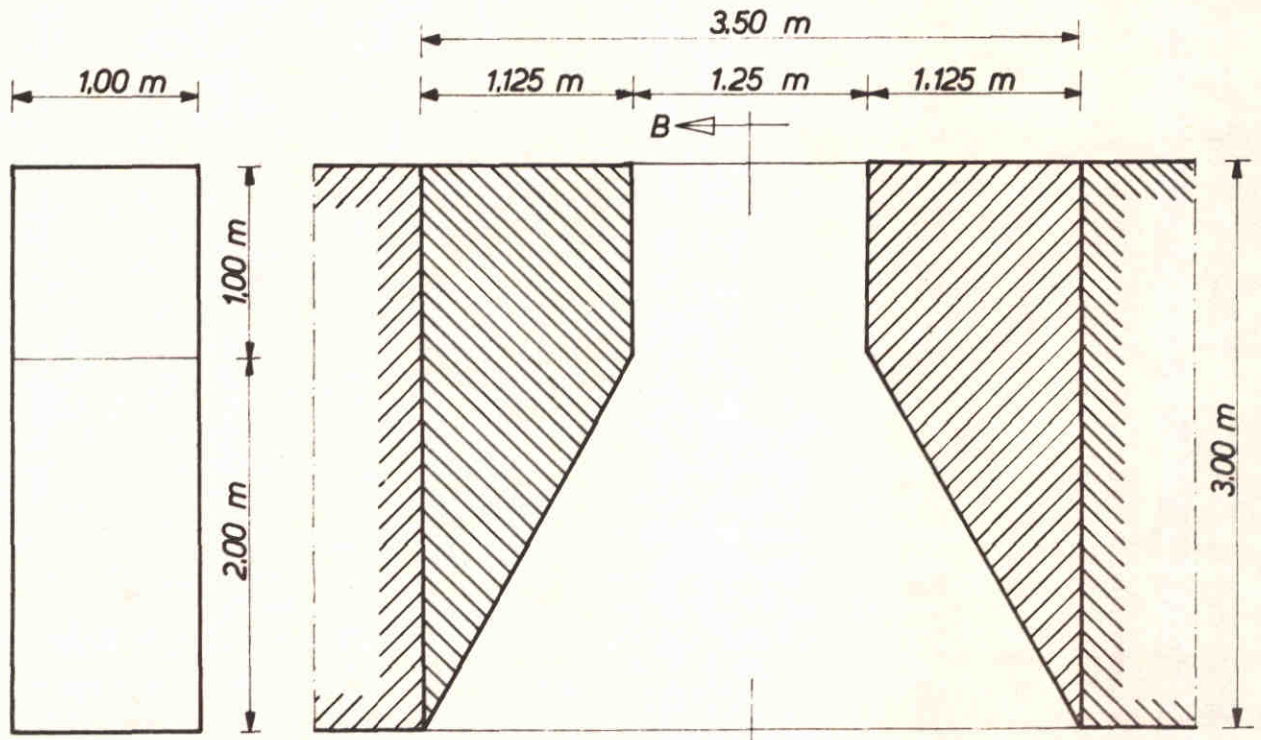
M 1431 - 1129

FIG.29



DWARSDOORSNEDE A-A

HORIZONTALE DOORSNEDE KOLKWAND TWEEZIJDIG UITWISSELEN



DWARSDOORSNEDE B-B

HORIZONTALE DOORSNEDE KOLKWAND EENZIJDIG UITWISSELEN

DOORSNEDEN VAN HET KOLKWANDRIOOL BIJ HET EEN- EN TWEEZIJDIG UITWISSELEN

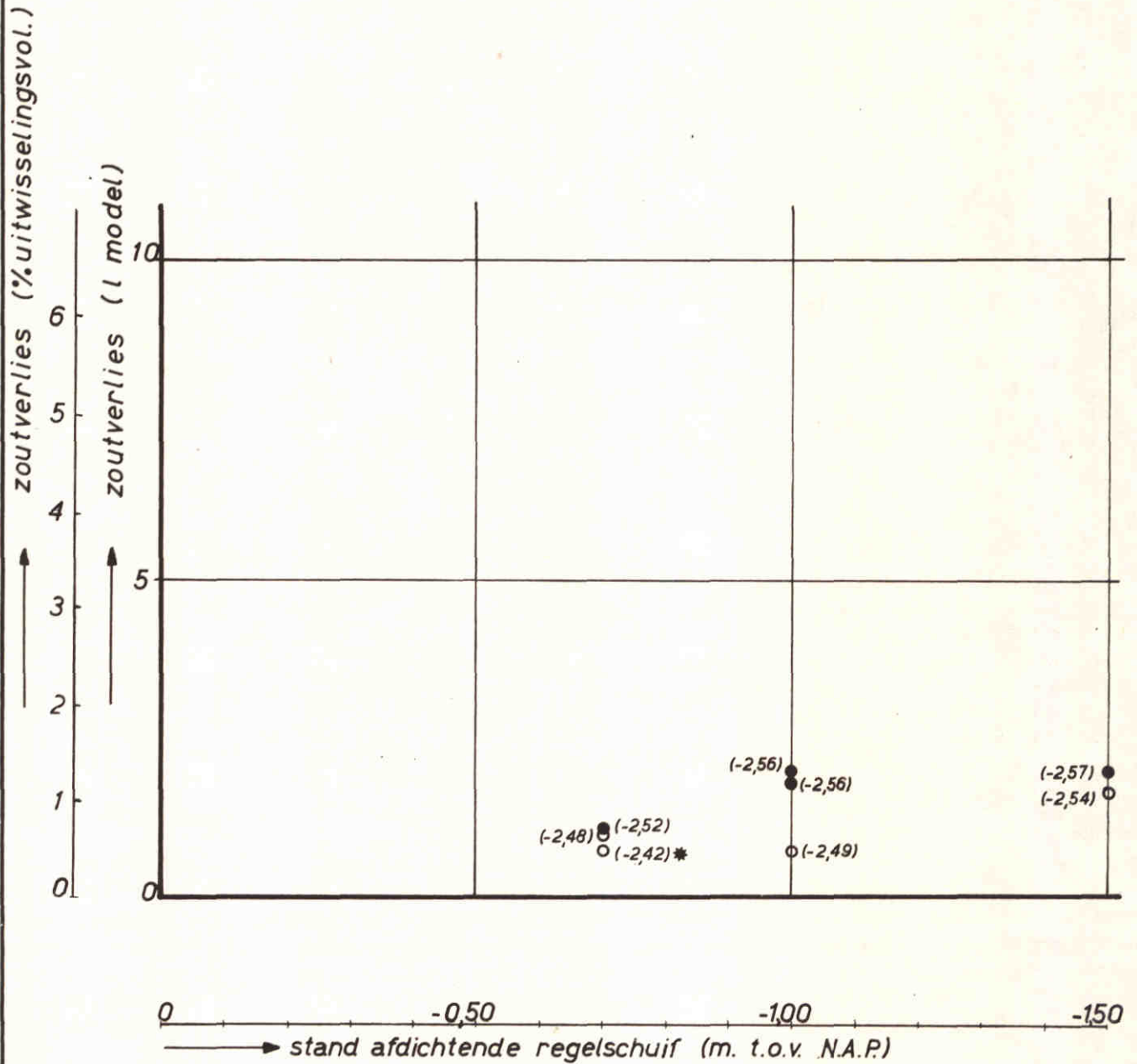
SCHAAL 1:40

A4

UITWISSELINGSVOLUME IS HET VOLUME TUSSEN N.A.P EN N.A.P -6,25 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,42 m)

WATERSTAND BIJ OPENEN REGELSCHUIF \approx N.A.P.



- proeven zonder schepen
- proeven met schepen

ZOUTVERLIES ALS FUNCTIE VAN DE STAND VAN AFDICHTENDE REGELSCHUIF

$\Delta p = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

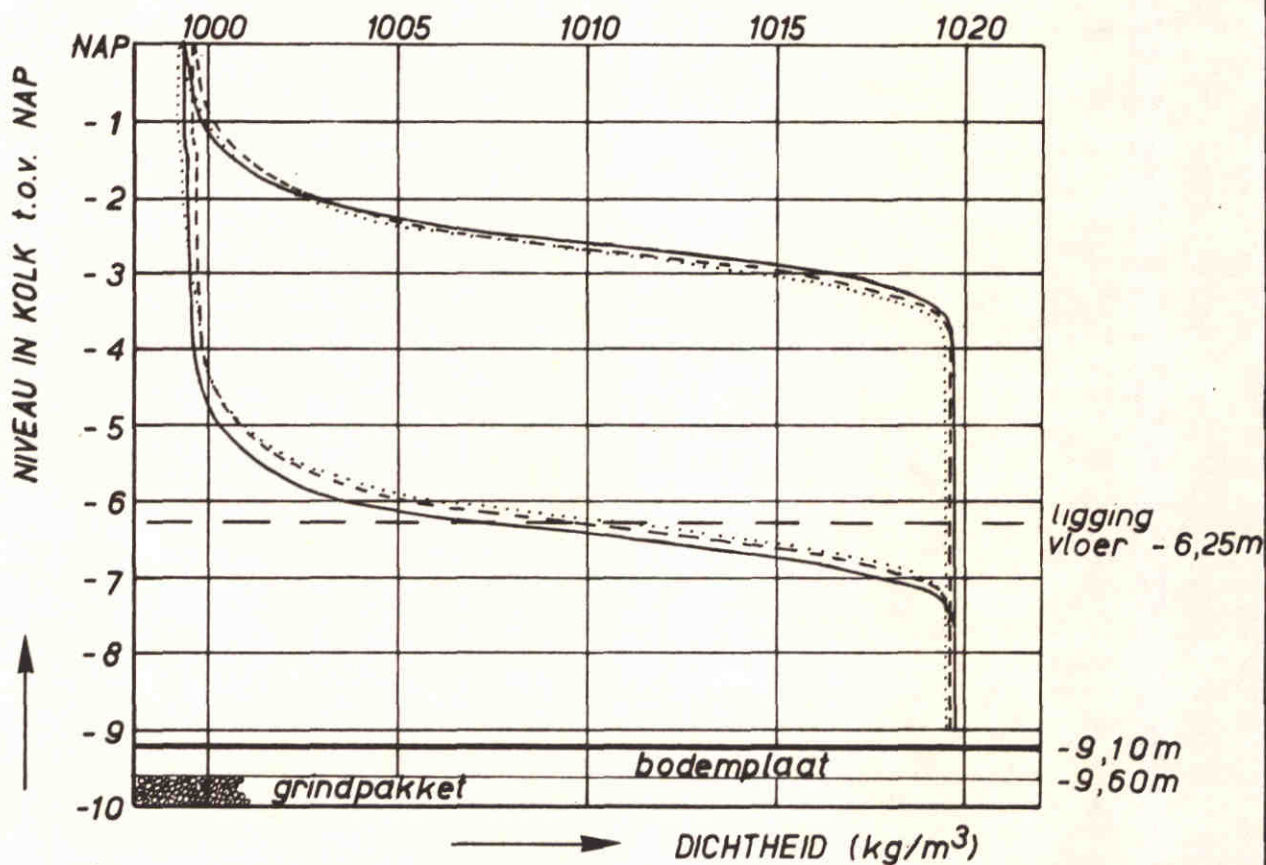
M1431 - 1131

FIG.31

STAND REGELSCHUIF $\left\{ \begin{array}{l} \text{--- N.A.P. -0,70m PROEF 200}^b \text{ (-2,48)*} \\ \text{- - - N.A.P. -1,00m PROEF 201}^c \text{ (-2,49)} \\ \text{... N.A.P. -1,50m PROEF 202 (-2,54)} \end{array} \right.$

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,48 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF N.A.P.



PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED SCHUIFSTAND

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

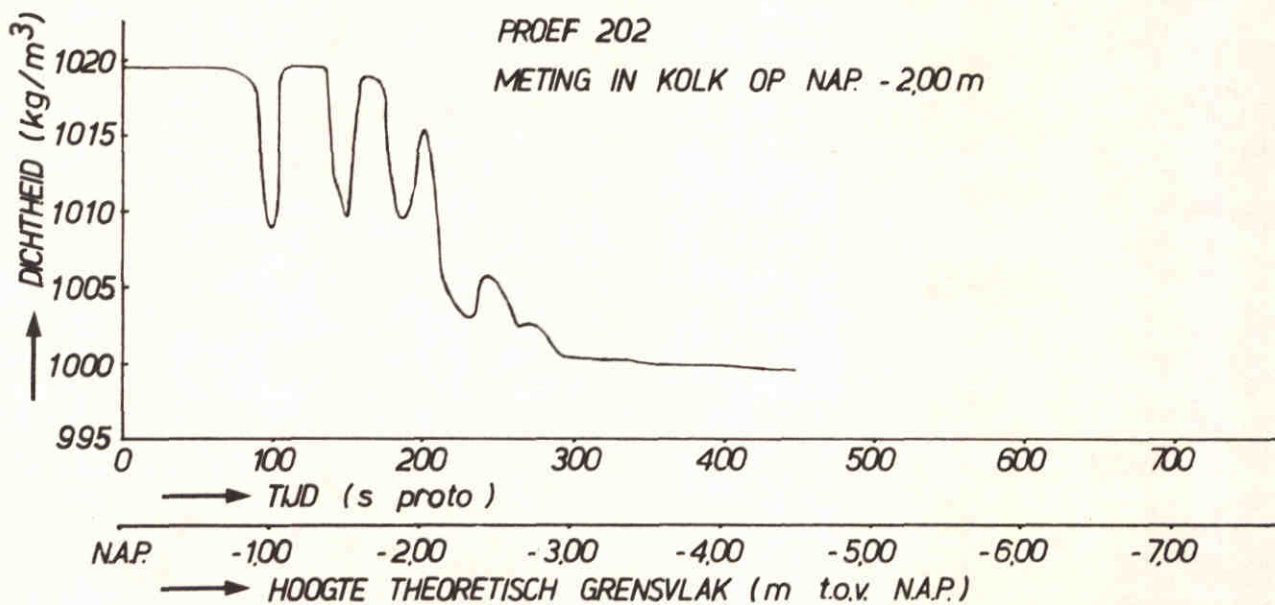
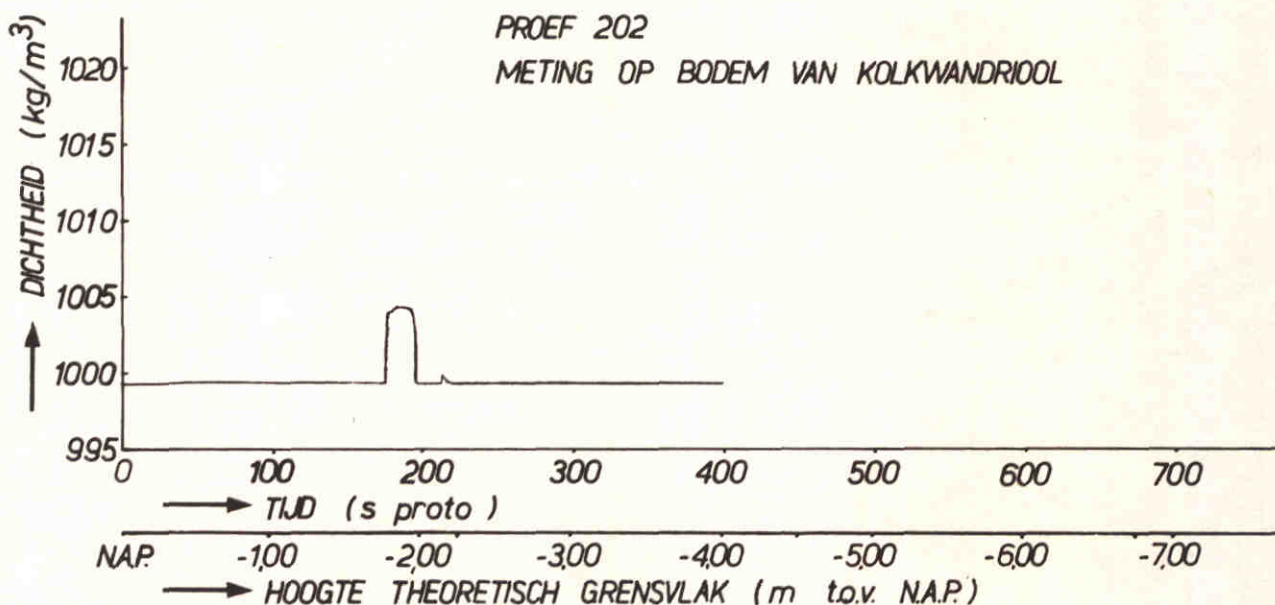
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1132

FIG. 32

STAND AFDICHTENDE REGELSCHUIF N.A.P. - 1,50 m
 THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU N.A.P. - 2,54 m
 WATERSTAND BIJ OPENEN REGELSCHUIF ≈ N.A.P.



DICHTHEID ALS FUNCTIE VAN DE TIJD GEMETEN IN EN JUUST
 VOOR HET KOLKWANDRIOOL BIJ HET NEERWAARTS UITWIS-
 SELEN

$$\Delta \rho = 20 \text{ kg/m}^3$$

$$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$$

A4

STAND AFDICHTENDE REGELSCHUIF

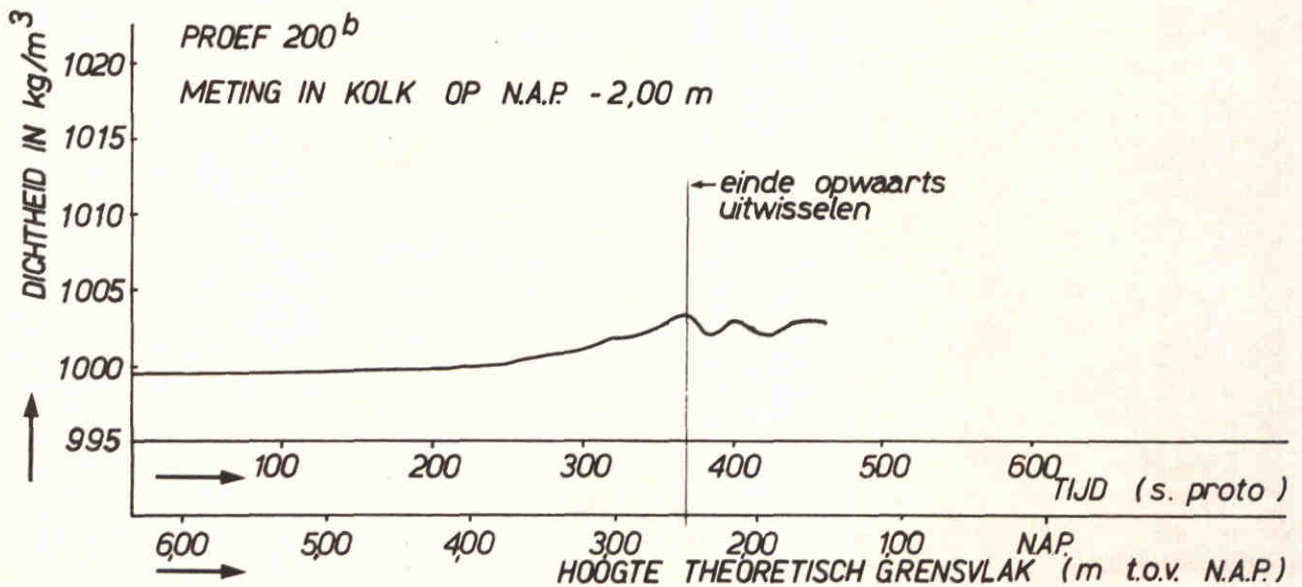
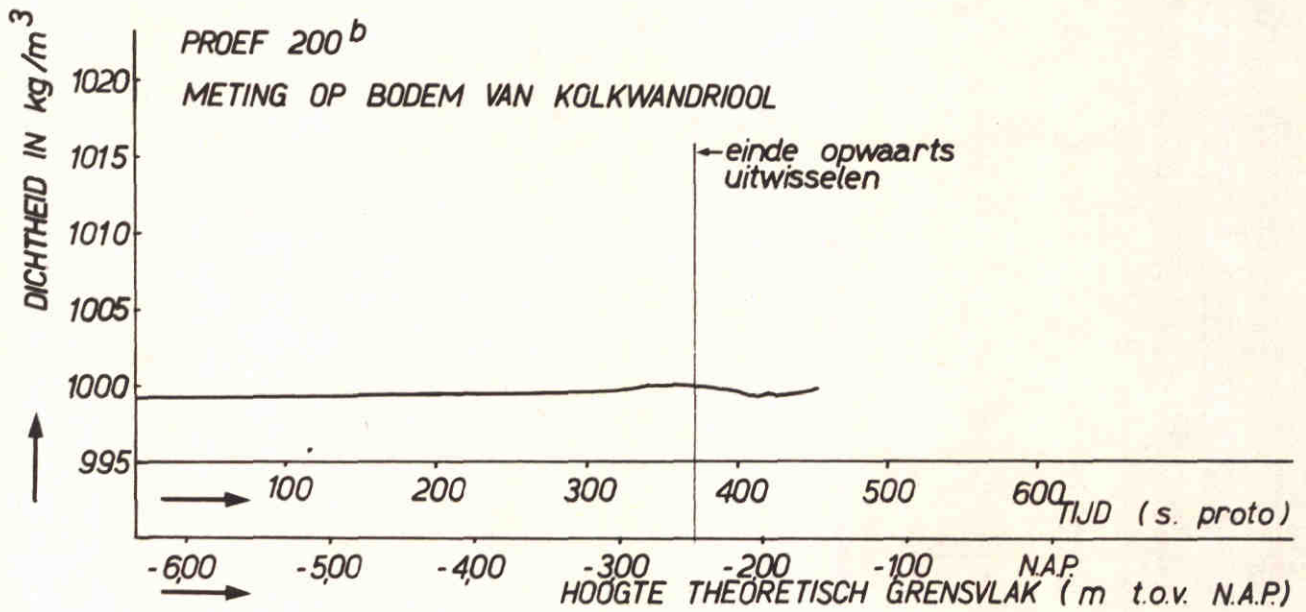
N.A.P. - 0,70 m

THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU

N.A.P. - 2,48 m

WATERSTAND BIJ OPENEN REGELSCHUIF

= N.A.P.



DICHTHEID ALS FUNCTIE VAN DE TIJD IN EN JUUST VOOR
HET KOLKWANDRIOOL BIJ HET OPWAARTS UITWISSELEN

$\Delta p = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431 - 1134

FIG. 34

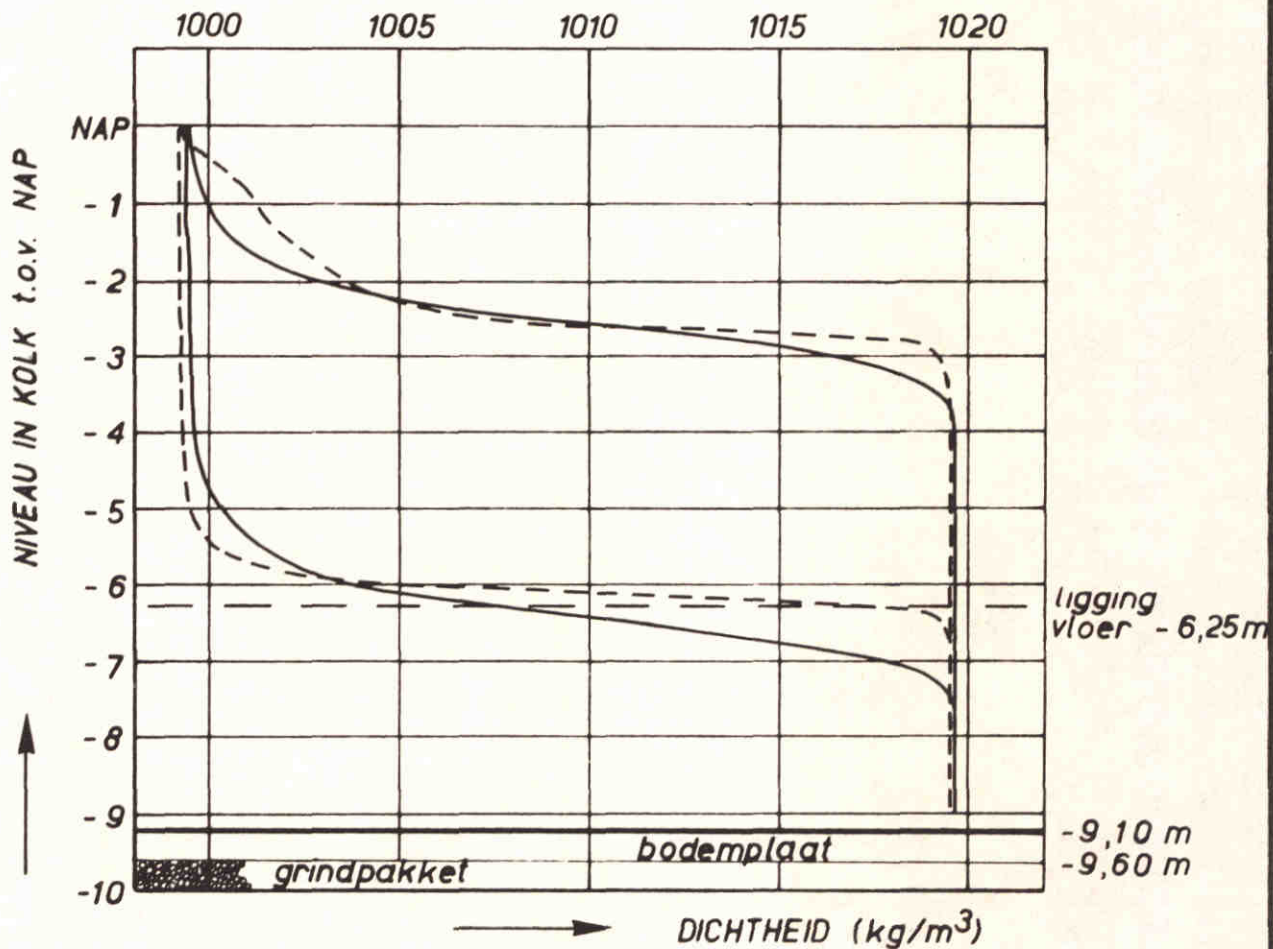
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -0,70 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,48 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



———— PROEF 200^b ZONDER SCHEPEN (-2,48)*
 - - - - - PROEF 203 MET SCHEPEN (-2,52)

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

INVLOED SCHEPEN

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A₄

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1135

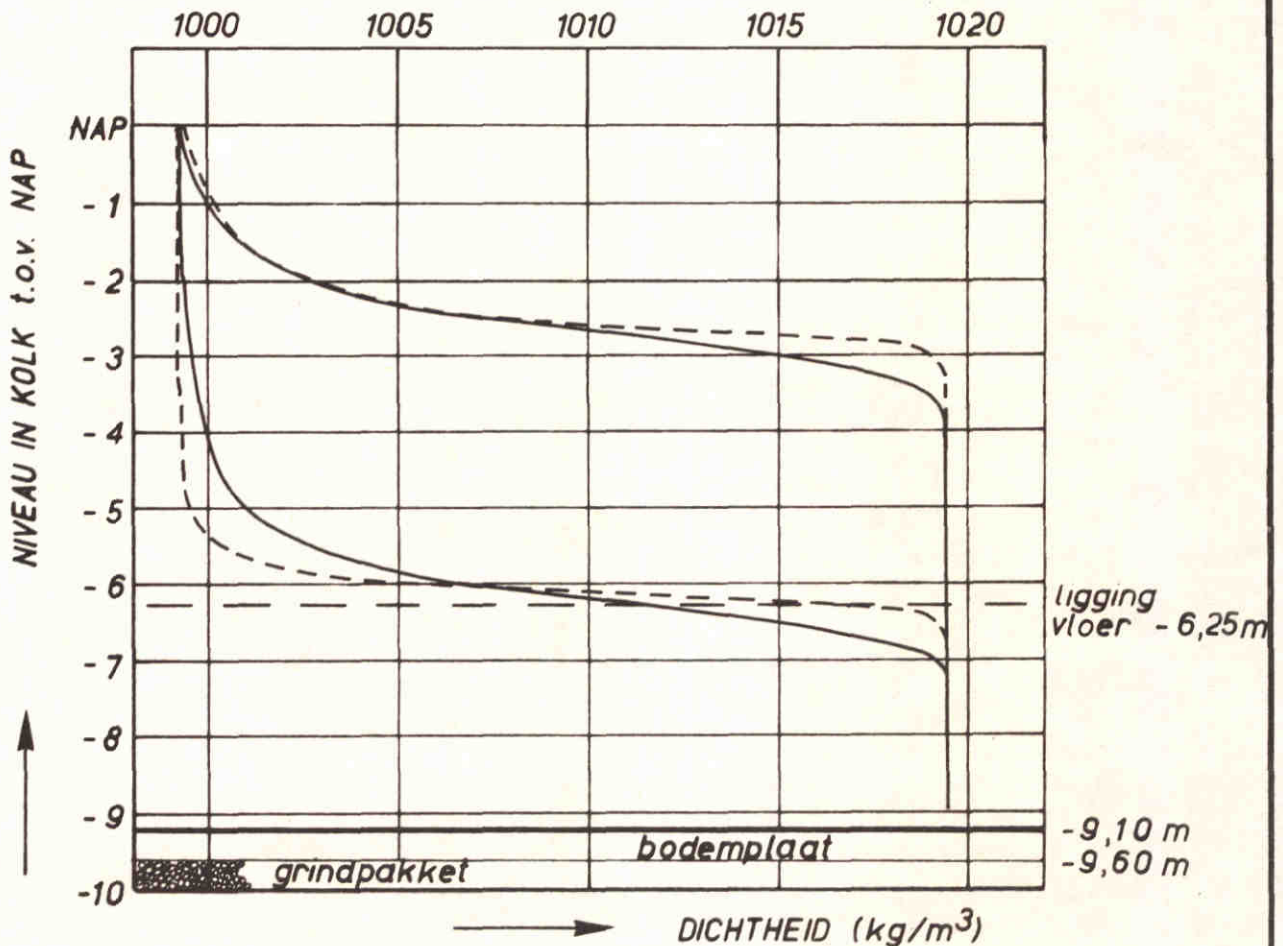
FIG. 35

STAND REGELSCHUIF

N.A.P. - 1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,54 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF \approx N.A.P.



———— PROEF 202 ZONDER SCHEPEN (-2,54) *

----- PROEF 205 MET SCHEPEN (-2,57)

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF

$\Delta \rho = 20 \text{ kg/m}^3$

INVLOED SCHEPEN

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

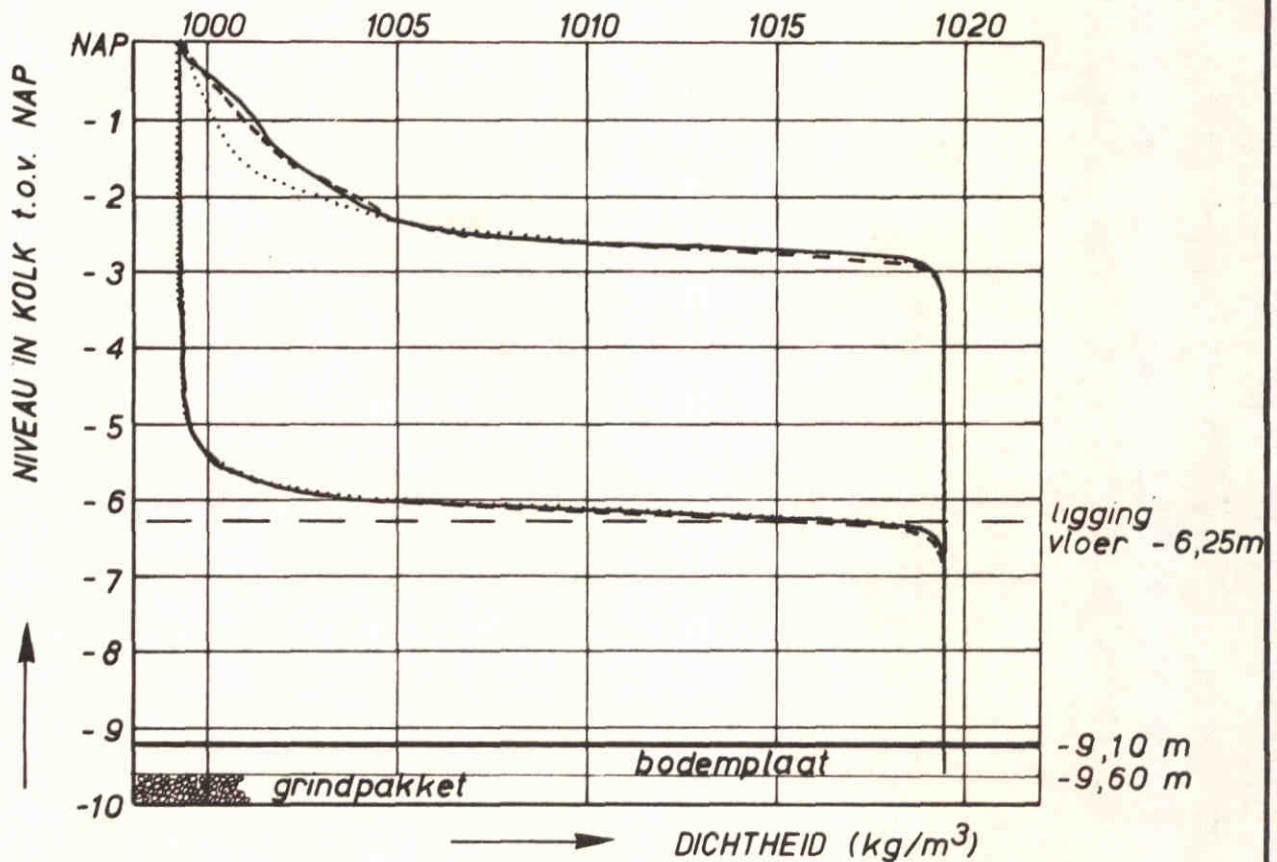
M 1431 - 1136

FIG.36

STAND REGELSCHUIF $\left\{ \begin{array}{l} \text{---} \text{ N.A.P. } -0,70 \text{ m PROEF 203 } (-2,52) * \\ \text{- - -} \text{ N.A.P. } -1,00 \text{ m PROEF 204}^2 (-2,56) \\ \text{...} \text{ N.A.P. } -1,50 \text{ m PROEF 205 } (-2,57) \end{array} \right.$

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,52m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF \approx N.A.P.



PROEVEN MET SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED SCHUIFSTAND

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

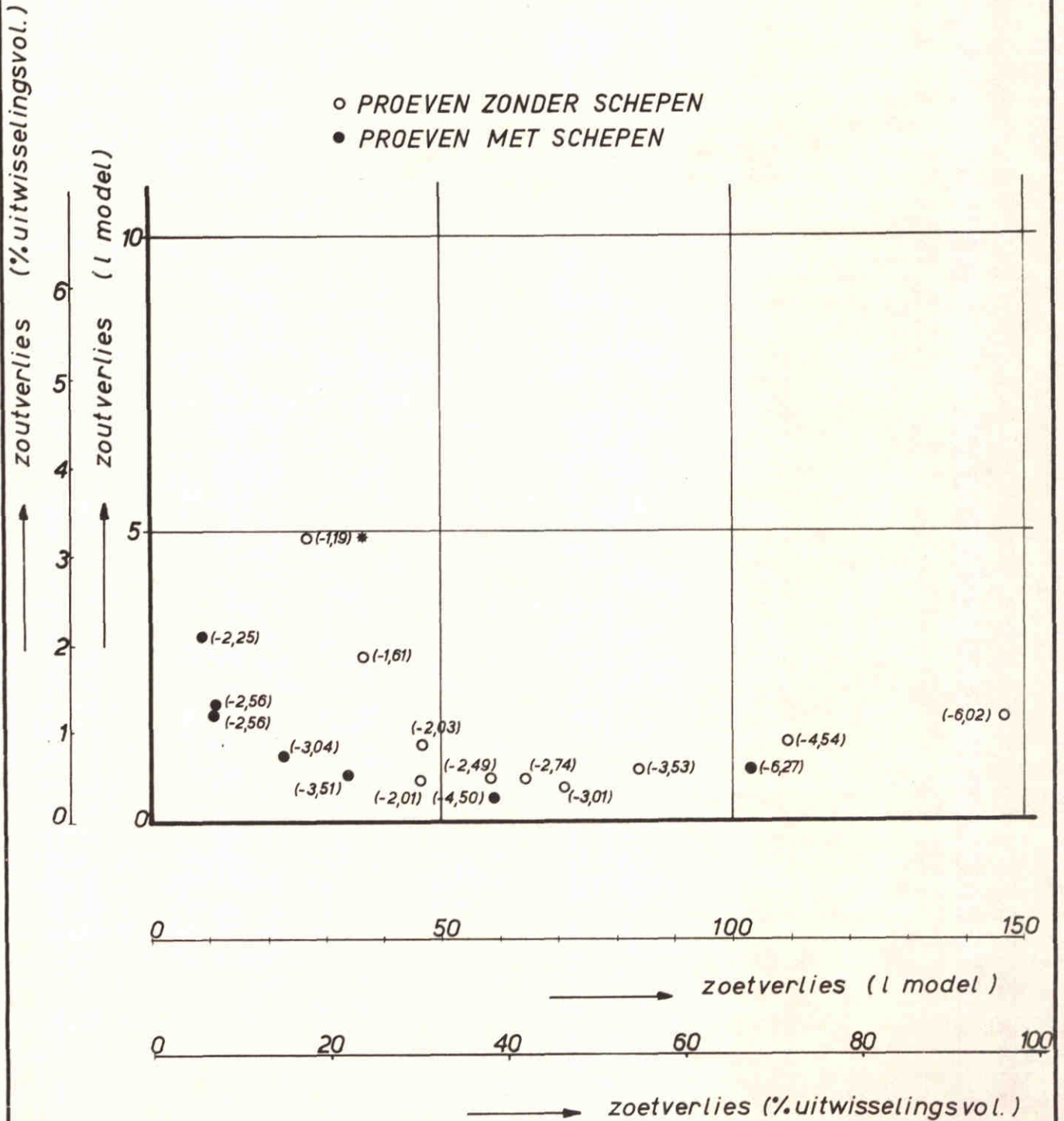
M 1431 - 1137

FIG.37

UITWISSELINGSVOLUME IS HET VOLUME TUSSEN N.A.P EN N.A.P -6,25 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P - 1,19 m)

WATERSTAND BIJ OPENEN REGELSCHUIF \approx N.A.P



ZOUTVERLIES ALS FUNCTIE VAN HET ZOETVERLIES BIJ EEN
STAND VAN DE AFDICHTENDE REGELSCHUIF VAN N.A.P. -1,00 m

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

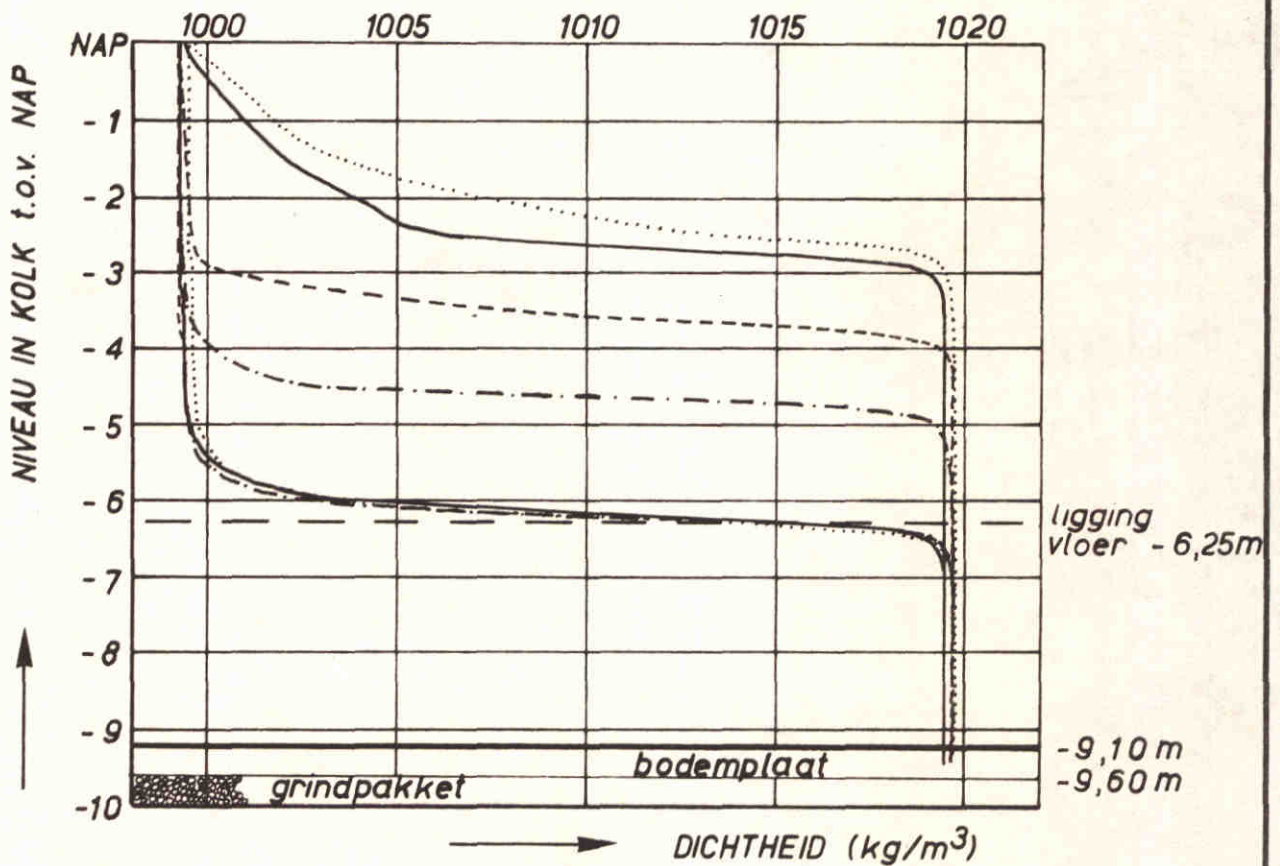
M1431 - 1138

FIG. 38

THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU

- PROEF 204^a -2,56
- - - PROEF 217 -3,51
- PROEF 223 -2,25
- - - PROEF 216 -4,50

STAND REGELSCHUIF N.A.P. -1,00 m
 WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF ≈ N.A.P.



PROEVEN MET SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
 INVLOED TERUGWINNIVEAU

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

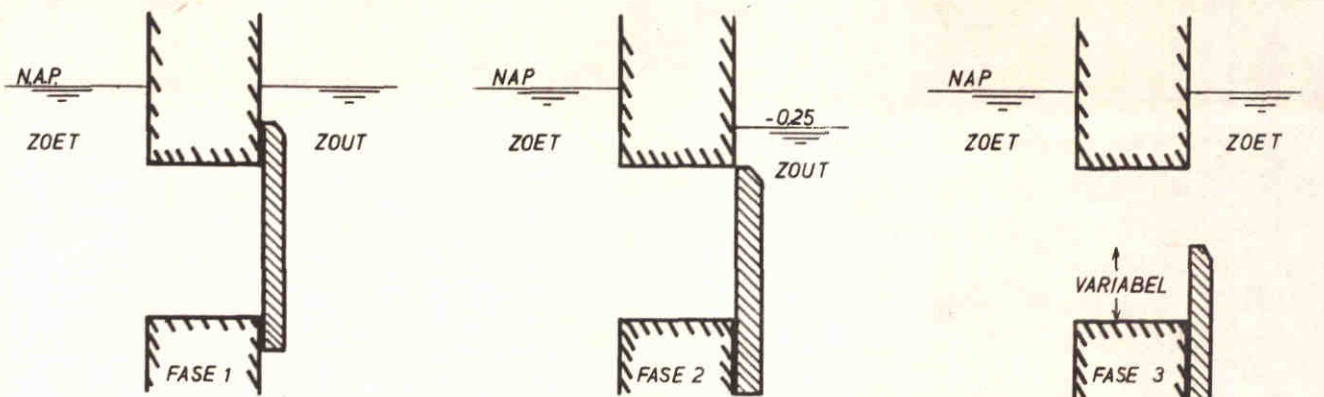
$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A₄

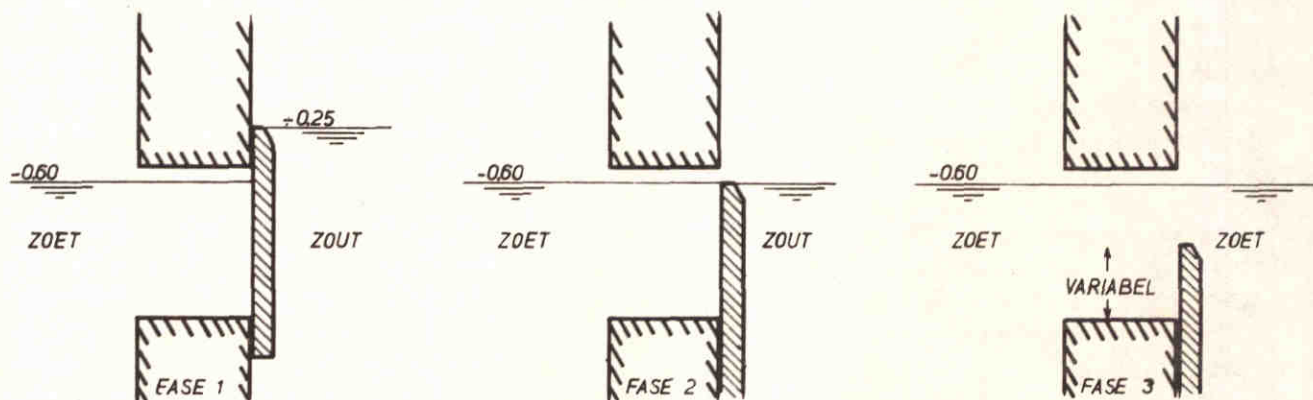
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1140

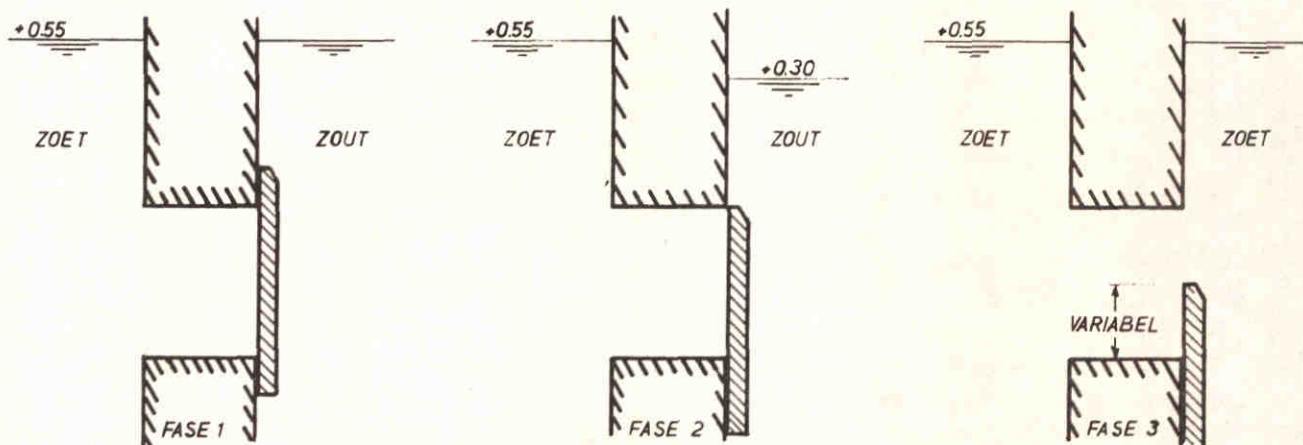
FIG. 40



OMARMEND ZOET OP NAP.



VERLAAGD OMARMEND ZOET NAP. -0.60



VERHOOGD OMARMEND ZOET NAP. +0.55

FASE 1 *BEGIN VAN DE SCHUIFBEWEGING*

FASE 2 *BEGIN ZOETWARTOEVOER DOOR DE KOLKWAND*

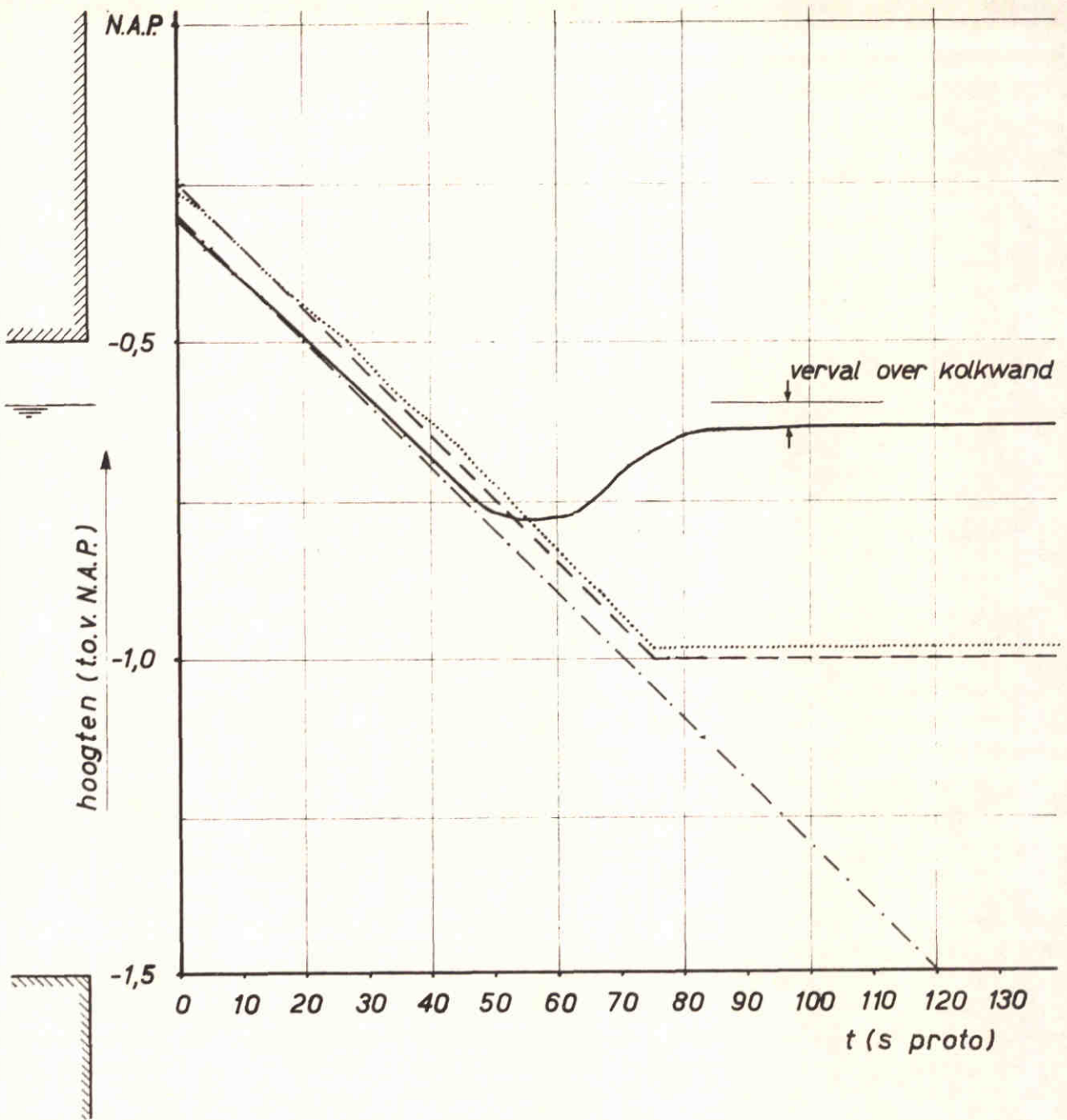
FASE 3 *NA BEEINDIGING VAN DE SCHUIFBEWEGING*

SCHEMA BEWEGING AFDICHTENDE REGELSCHUIF EN
WATERSTAND IN KOLK BIJ VERSCHILLENDE NIVEAU'S
OMARMEND ZOET

$$v_{\text{schuif}} = v_{\text{grensvlak}}$$

C.A.V.

A4



- *Beweging waterstand kolk.*
- - - - - *Gewenste schuifbeweging.*
- *Optredende schuifbeweging.*
- · - · - *Theoretisch niveau grensvlak.*

BEWEGING AFDICHTENDE REGELSCHUIF EN WATERNIVEAU
 IN KOLK VOOR 12 m BREDE SLUISKOLK

PROEF 262^b

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431-1142

FIG.42

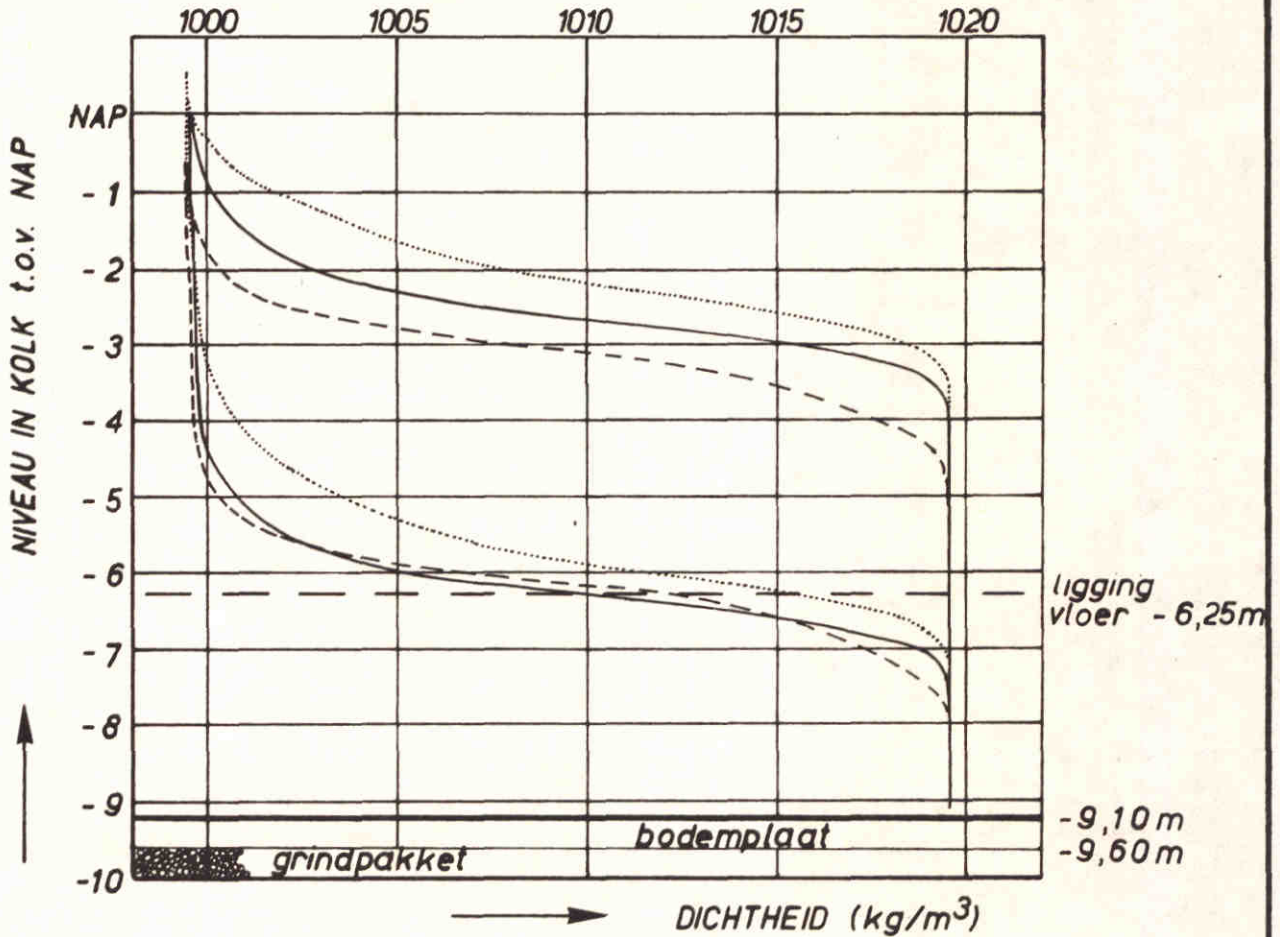
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. - 1,00 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,50 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

- ≈ N.A.P.
- - - ≈ N.A.P. - 0,30 m
- ⋯ ≈ N.A.P. + 0,55 m



— OMARMEND ZOET OP N.A.P. PROEF 201^c (-2,49) *

- - - VERLAAGD OMARMEND ZOET N.A.P. - 0,60 m PROEF 260^b (-3,12)

⋯ VERHOOGD OMARMEND ZOET N.A.P. + 0,55 m PROEF 258 (-2,06)

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED VAN VERLAAGD EN VERHOOGD OMARMEND ZOET

$\Delta \rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A₄

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1143

FIG. 43

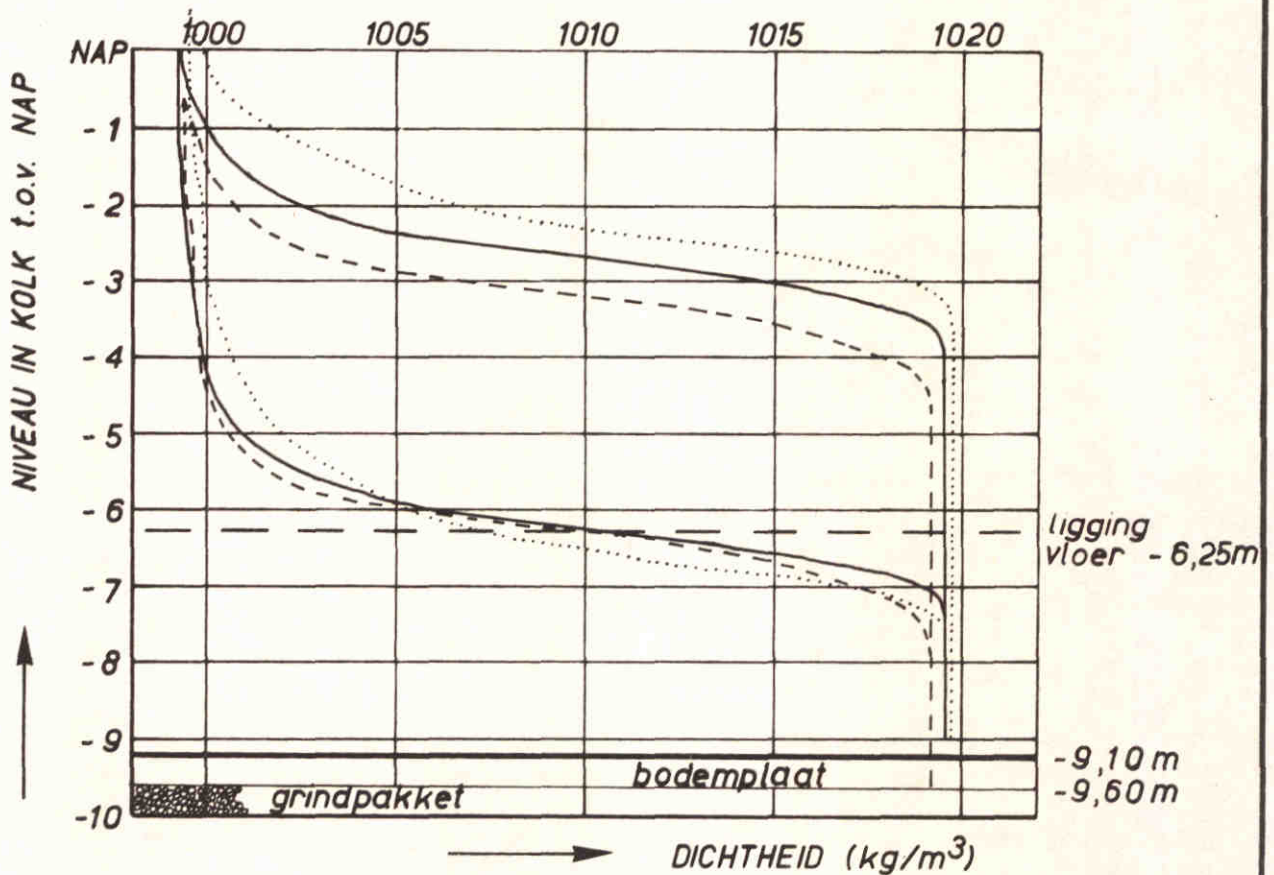
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,54 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

- \approx N.A.P.
- - - \approx N.A.P. -0,30 m
- ⋯ \approx N.A.P. +0,55 m



— OMARMEND ZOET OP N.A.P. PROEF 202 (-2,54)*
 - - - VERLAAGD OMARMEND ZOET N.A.P. -0,60m PROEF 261 (-3,13)
 ⋯ VERHOOGD OMARMEND ZOET N.A.P. +0,55m PROEF 253 (-2,09)

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
 INVLOED VAN VERHOOGD EN VERLAAGD OMARMEND ZOET

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1144

FIG. 44

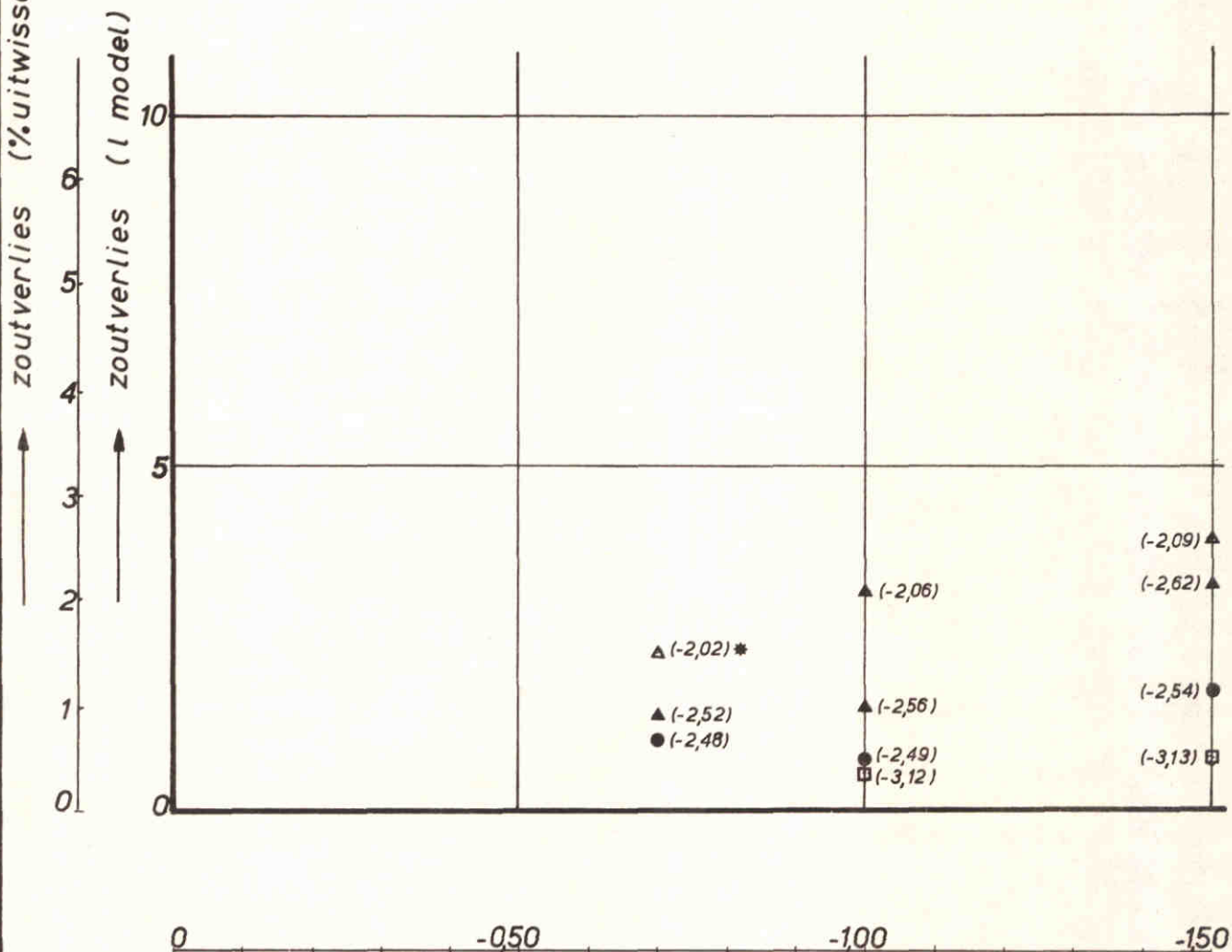
UITWISSELINGSVOLUME IS HET VOLUME TUSSEN N.A.P EN N.A.P -6,25 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P -2,02 m)

WATERSTAND BIJ OPENEN REGELSCHUIF VARIABEL ZIE FIGUUR 42

- VERLAAGD OMARMEND ZOET
 - OMARMEND ZOET OP N.A.P
 - ▲ VERHOOGD OMARMEND ZOET
 - ▲ VERHOOGD OMARMEND ZOET BIJ TERUGWINNEN TOT N.A.P - 2,50 m
- } TERUGWINNEN TOT ONDERKANT SCHIP

zoutverlies (%uitwisselingsvol.)



STAND AFDICHTENDE REGELSCHUIF (m t.o.v. N.A.P.) →

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

ZOUTVERLIES ALS FUNCTIE VAN DE STAND VAN DE AFDICHTENDE REGELSCHUIF BIJ VERLAAGD EN VERHOOGD OMARMEND ZOET

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

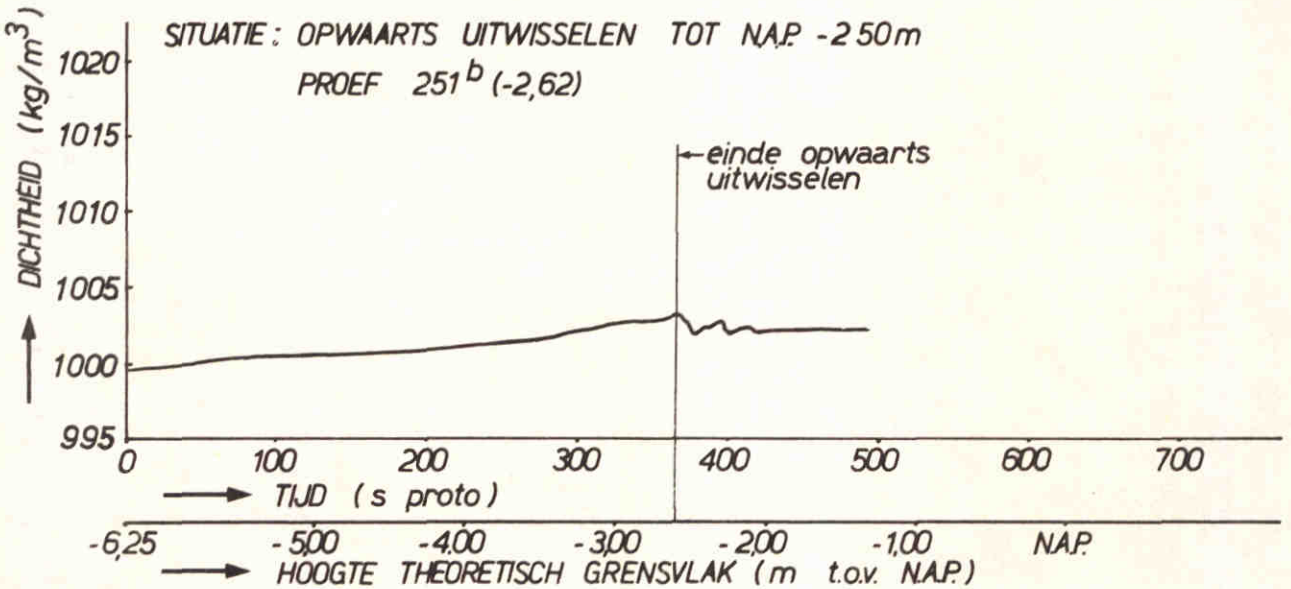
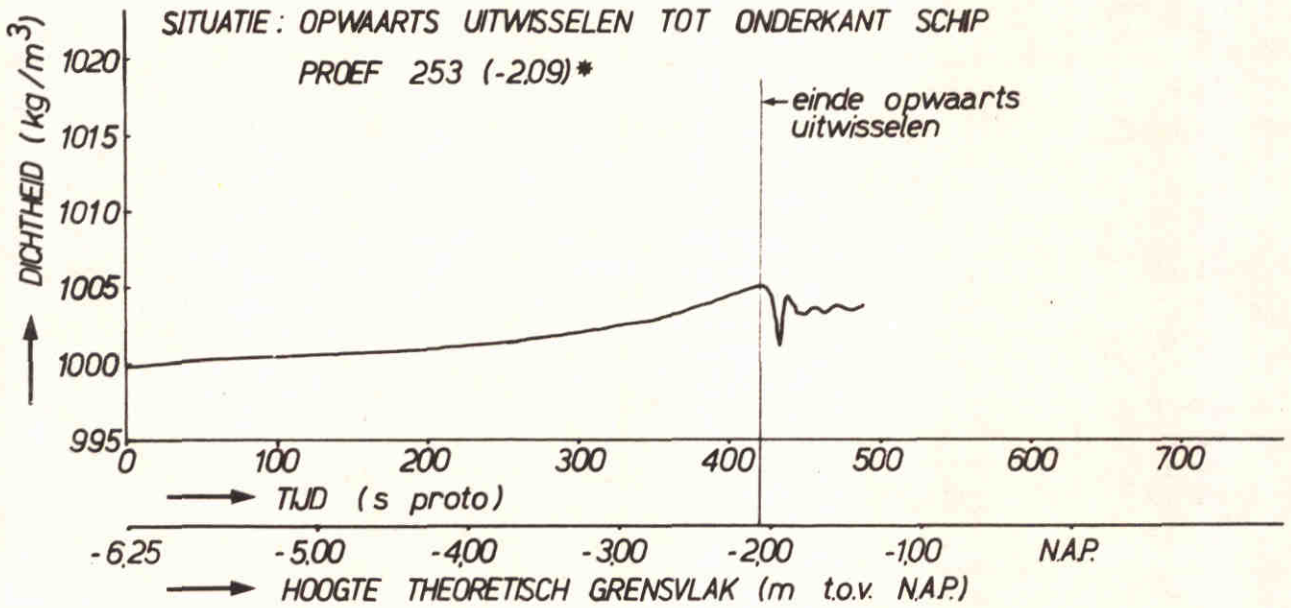
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1145

FIG. 45

STAND AFDICHTENDE REGELSCHUIF N.A.P. - 1.50 m
 * THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2.09 m)
 WATERSTAND BIJ OPENEN REGELSCHUIF N.A.P. + 0.55 m



DICHTHEID ALS FUNCTIE VAN DE TIJD GEMETEN IN HET
 KOLKWANDRIJOL BIJ VERHOOGD OMARMEND ZOET

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0.01 \text{ m/s}$

A4

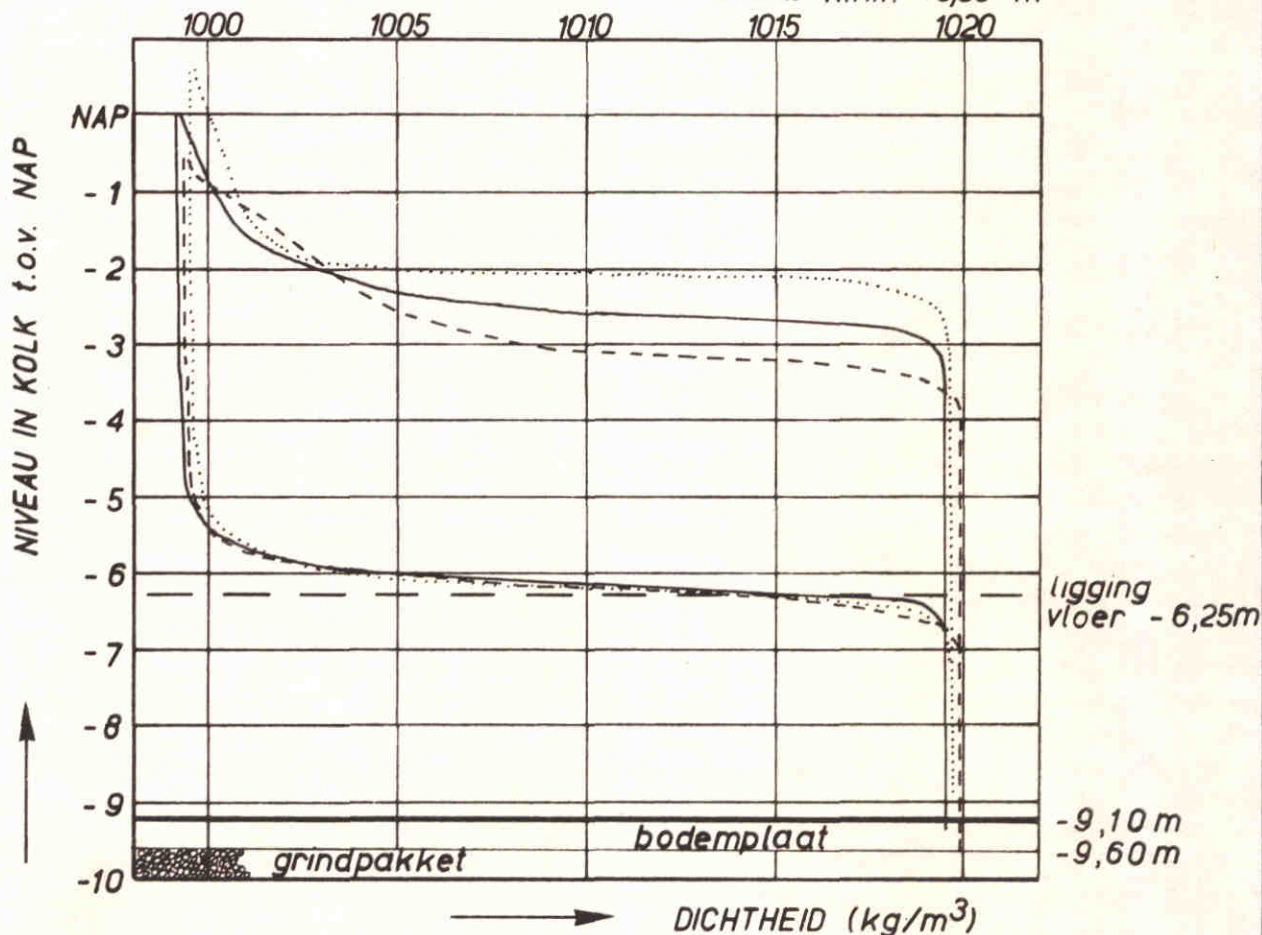
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. - 1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,57 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

- \approx N.A.P.
- - - \approx N.A.P. - 0,30 m
- \approx N.A.P. + 0,55 m



- OMARMEND ZOET OP N.A.P. PROEF 205 (-2,57)*
- - - VERLAAGD OMARMEND ZOET N.A.P. - 0,60m PROEF 263^b (-3,12)
- VERHOOGD OMARMEND ZOET N.A.P. + 0,55m PROEF 257 (-1,98)

PROEVEN MET SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED VAN VERHOOGD EN VERLAAGD OMARMEND ZOET

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1147

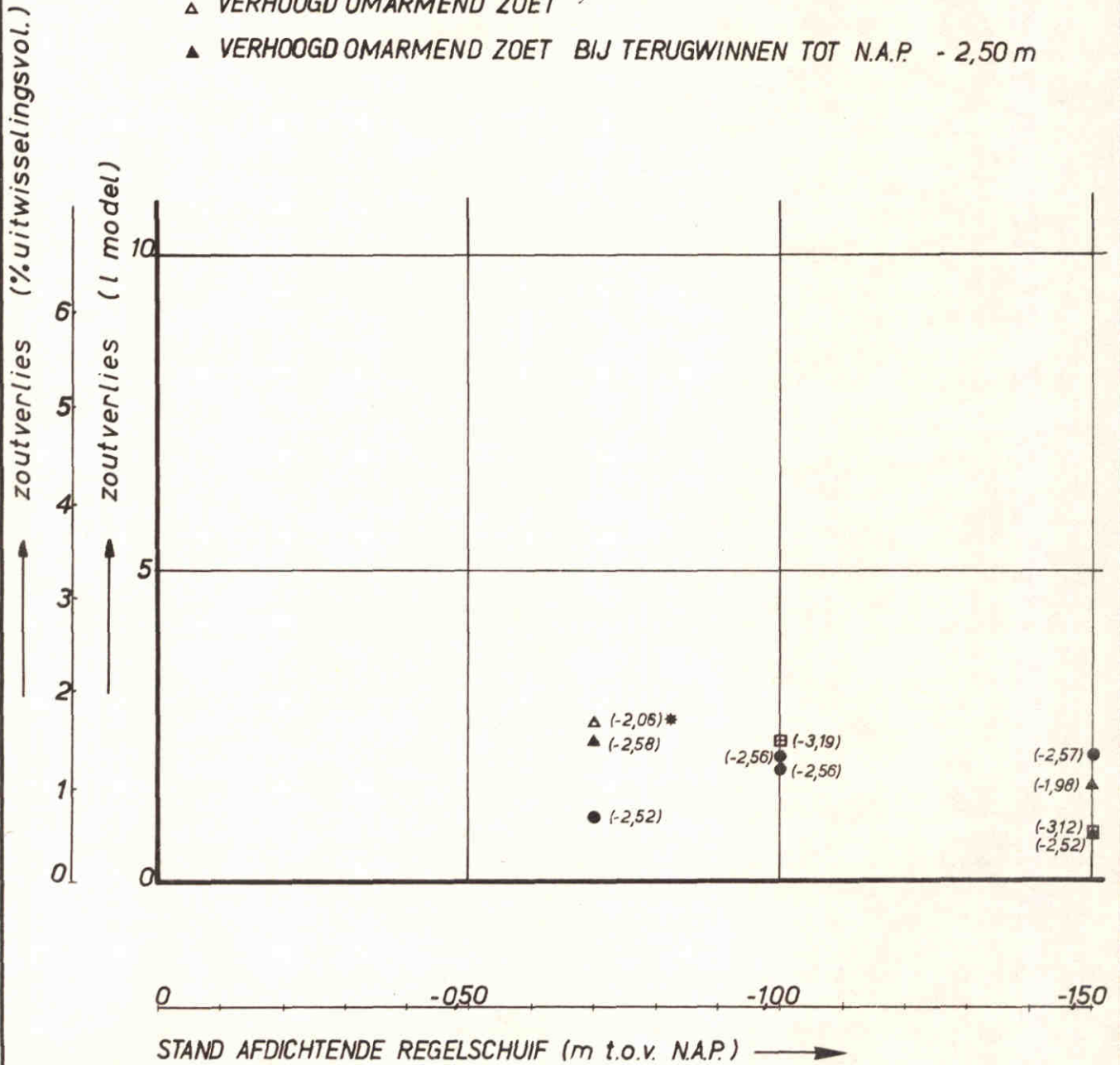
FIG. 47

UITWISSELINGSVOLUME IS HET VOLUME TUSSEN N.A.P. EN N.A.P. -6,25 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,06 m)

WATERSTAND BIJ OPENEN REGELSCHUIF VARIABEL ZIE FIGUUR 42

- VERLAAGD OMARMEND ZOET
 - OMARMEND ZOET OP N.A.P.
 - △ VERHOOGD OMARMEND ZOET
 - ▲ VERHOOGD OMARMEND ZOET BIJ TERUGWINNEN TOT N.A.P. - 2,50 m
- } TERUGWINNEN TOT ONDERKANT SCHIP



PROEVEN MET SCHEPEN

ZOUTVERLIES ALS FUNCTIE VAN DE STAND VAN DE AFDICHTENDE REGELSCHUIF BIJ VERLAAGD EN VERHOOGD OMARMEND ZOET

$\Delta p = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1148

FIG. 48

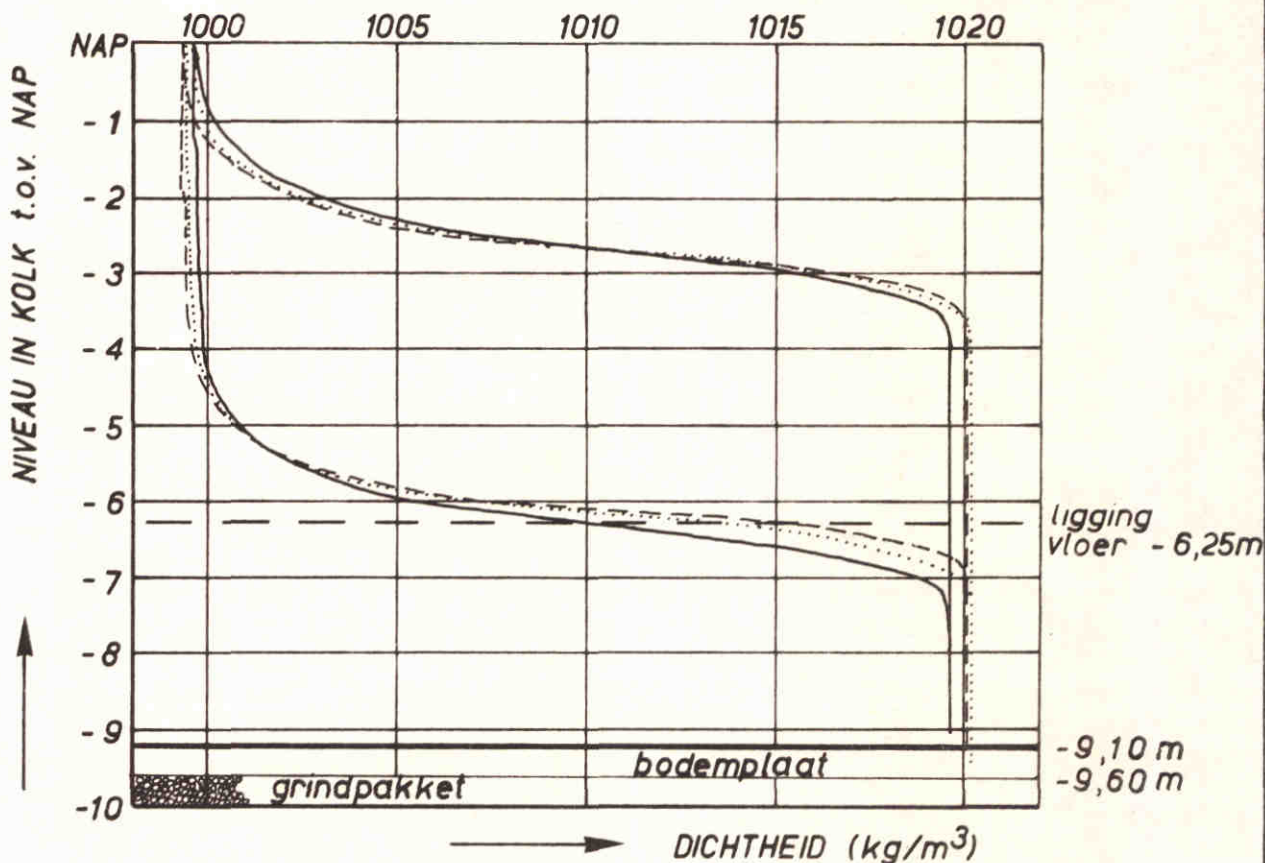
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. - 1,00 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,49 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



- SCHUIFSNELHEID 0,011 m/s PROEF 201^C (-2,49) *
- - - SCHUIFSNELHEID 0,021 m/s PROEF 235 (-2,54)
- SCHUIFSNELHEID 0,029 m/s PROEF 236 (-2,52)

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED SCHUIFSNELHEID

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1149

FIG. 49

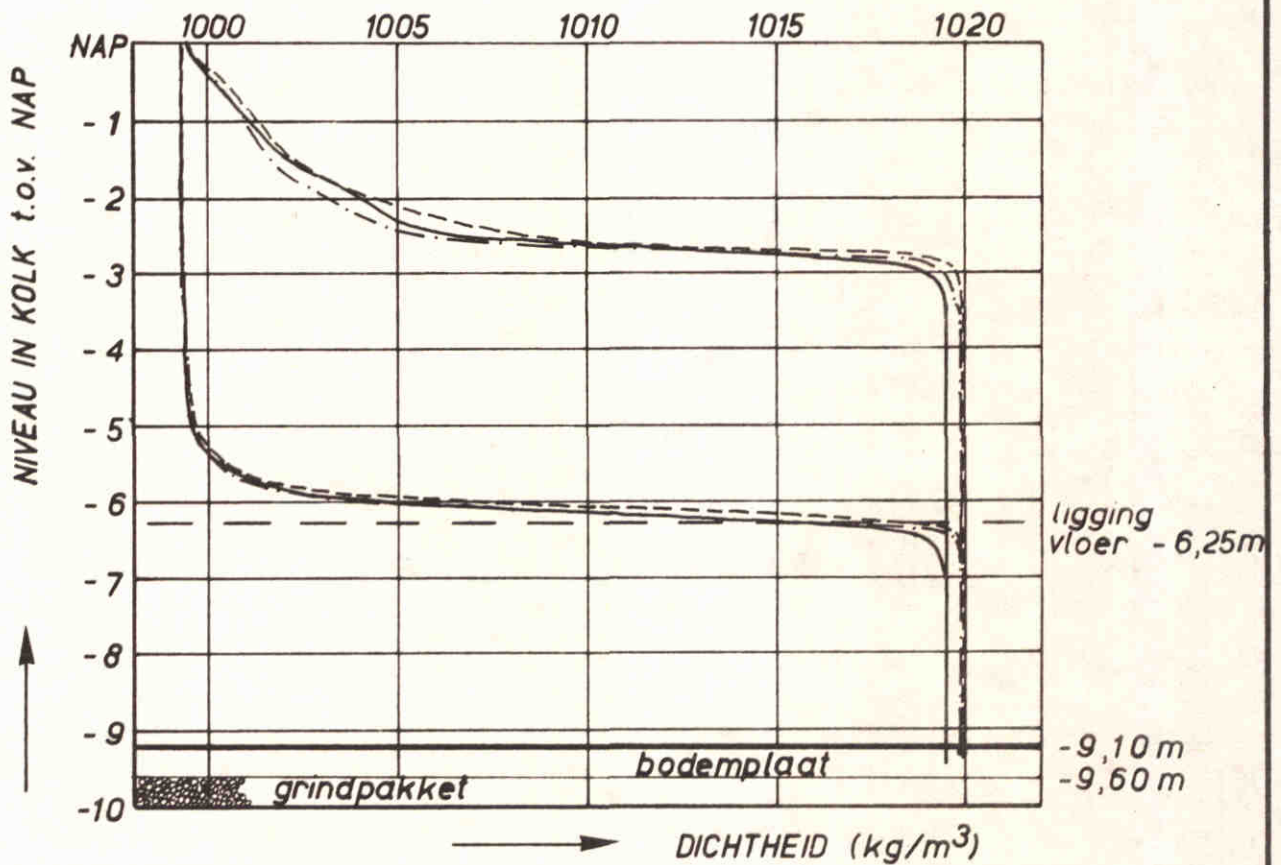
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. - 1,00 m

*THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,56 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



- SCHUIFSNELHEID 0,011 m/s PROEF 204^a (- 2,56) *
- - - SCHUIFSNELHEID 0,021 m/s PROEF 237 (- 2,56)
- · - · SCHUIFSNELHEID 0,032 m/s PROEF 238 (- 2,56)

PROEVEN MET SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED SCHUIFSNELHEID

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

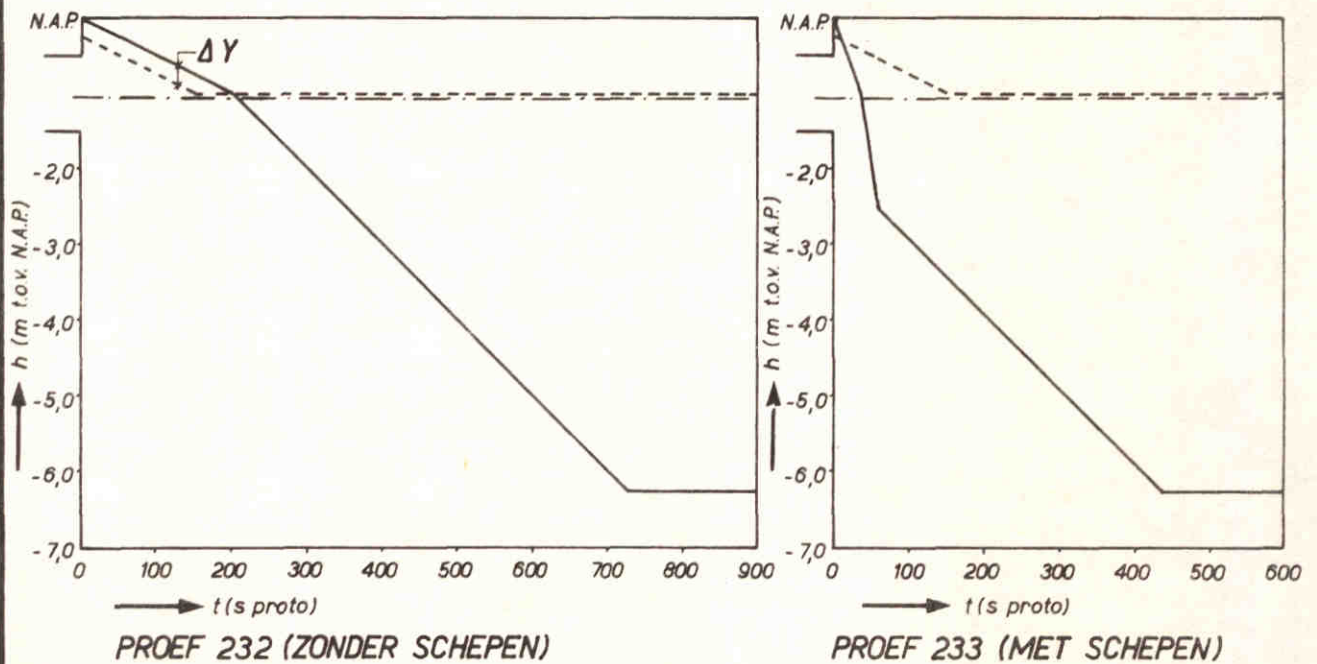
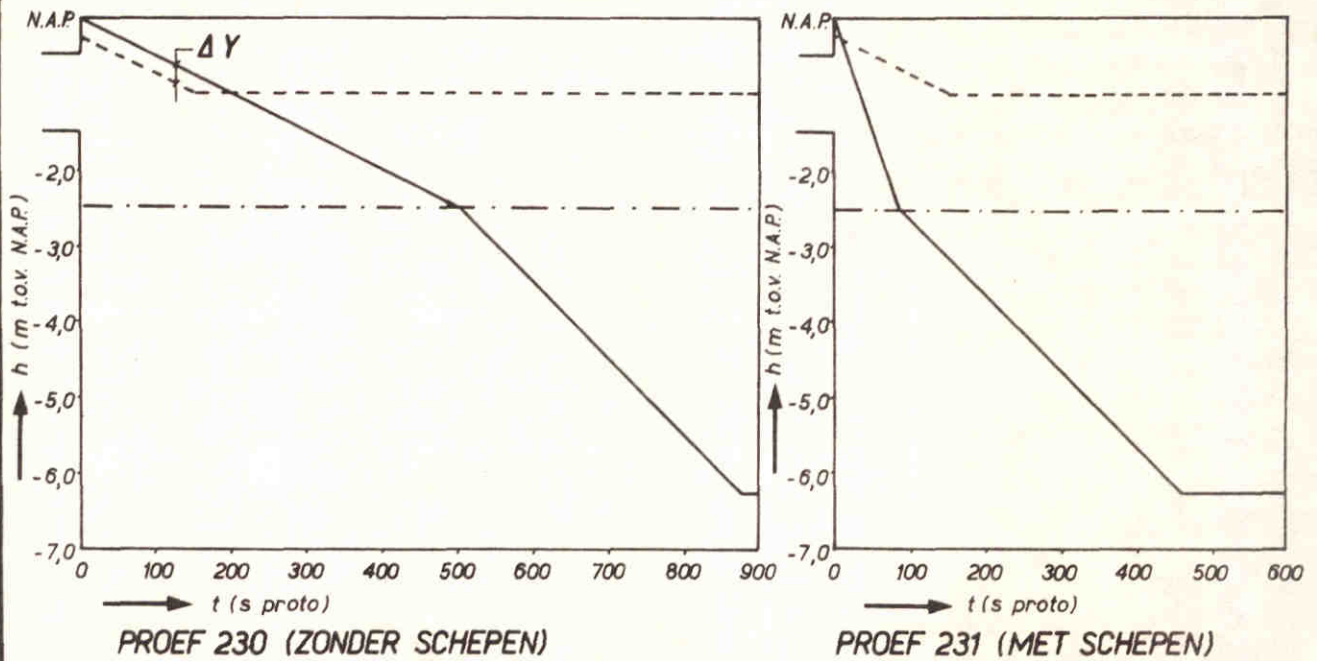
$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A₄

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1150

FIG. 50



BEWEGING AFDICHTENDE REGELSCHUIF EN THEORETISCH
GRENSVLAK BIJ DEBIETPROGRAMMERING

A4

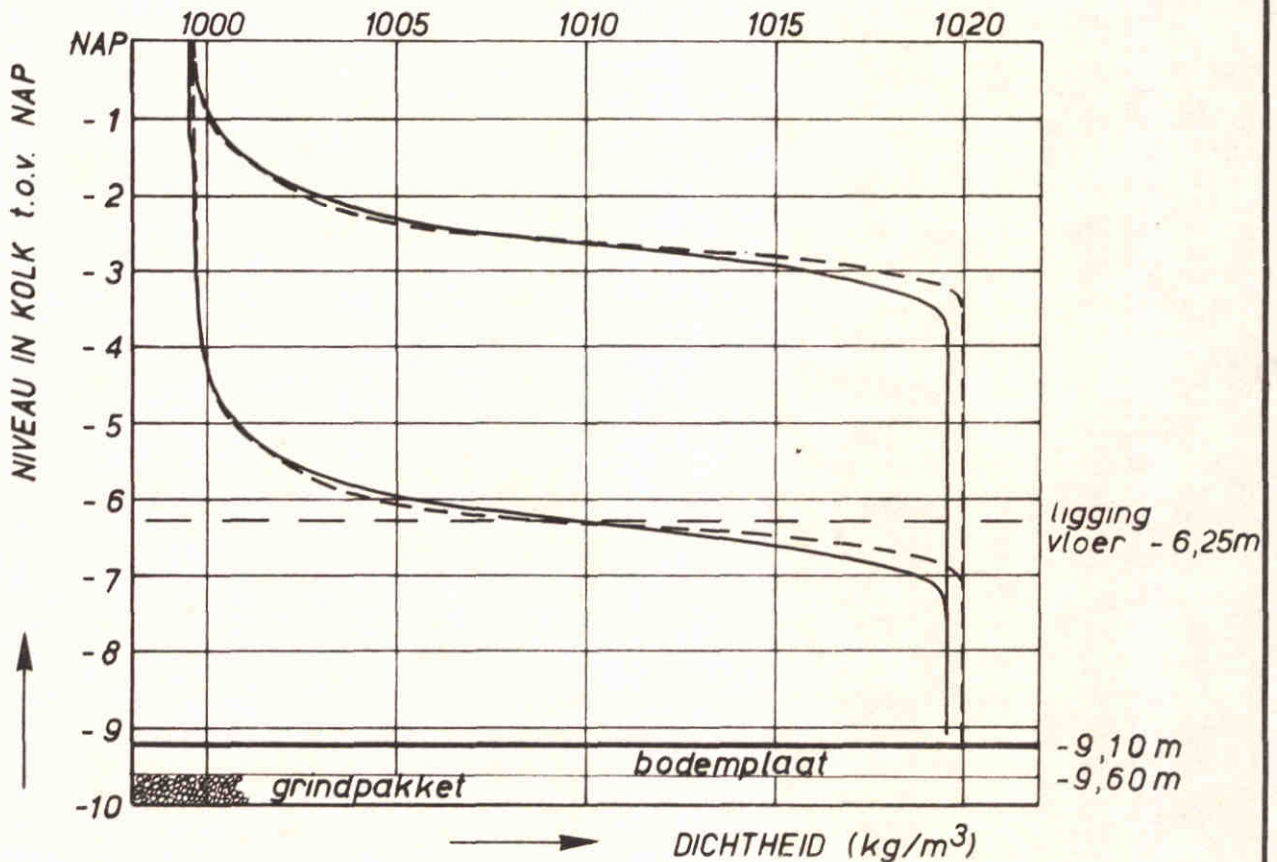
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,00 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,49 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



———— GEEN DEBIETPROGRAMMERING

PROEF 201^c (-2,49)*

- - - - DEBIETPROGRAMMERING

PROEF 230^b (-2,52)

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

INVLOED DEBIETPROGRAMMERING

$v_{\text{grensvlak}} = \text{VAR.}$

A₄

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1152

FIG 52

STAND AFDICHTENDE REGELSCHUIF

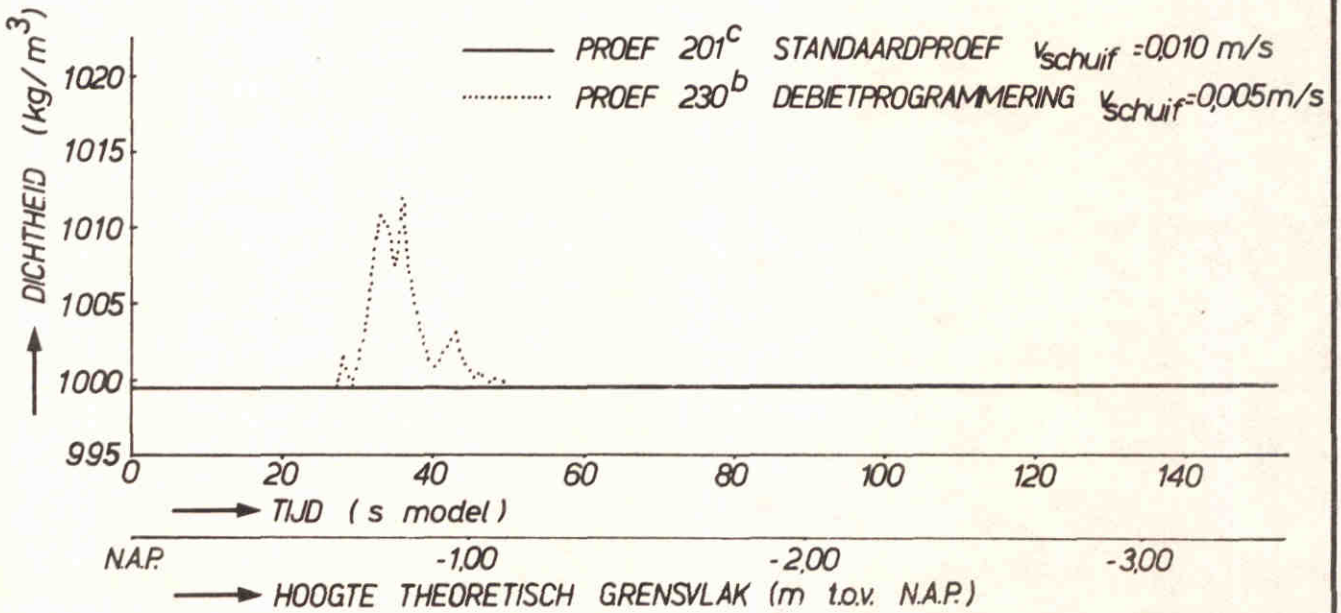
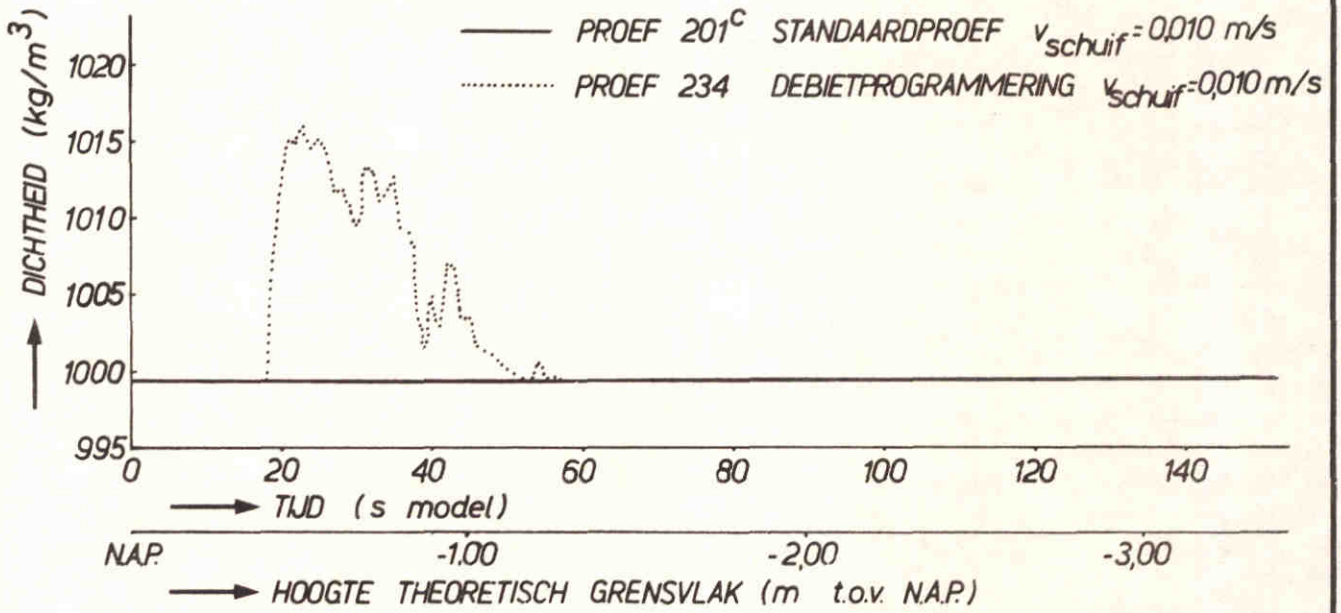
N.A.P. -1,00 m

THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU

≈ N.A.P. -2,50 m

WATERSTAND BIJ OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEID ALS FUNCTIE VAN DE TIJD GEMETEN IN HET KOLK -
WANDRIOOL BIJ DEBIETPROGRAMMERING IN DE NEERWAARTSE
UITWISSELFASE

$\Delta \rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}}$ ZIE FIG. 51

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431-1153

FIG. 53

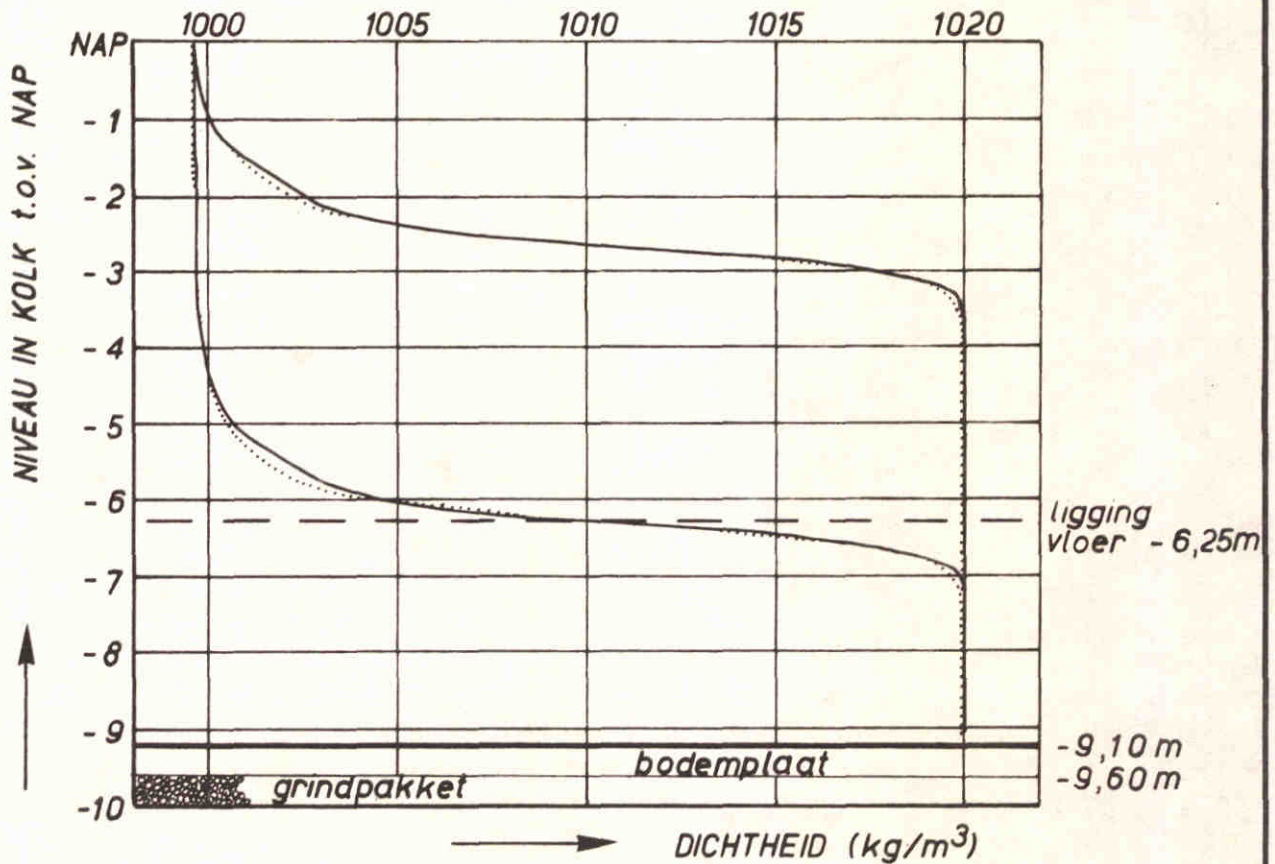
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,00 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,52 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



————— GRENslaagversnelling indien grensvlak op
N.A.P. -1,00 m (ZIE FIG. 51) PROEF 230^b (-2,52)*

..... GRENslaagversnelling indien grensvlak op
N.A.P. -2,50 m (ZIE FIG. 51) PROEF 232 (-2,48)

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED TIJDSTIP GRENslaagversnelling BIJ
DEBIETPROGRAMMERING

$\Delta \rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = \text{VAR.}$

A₄

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1154

FIG. 54

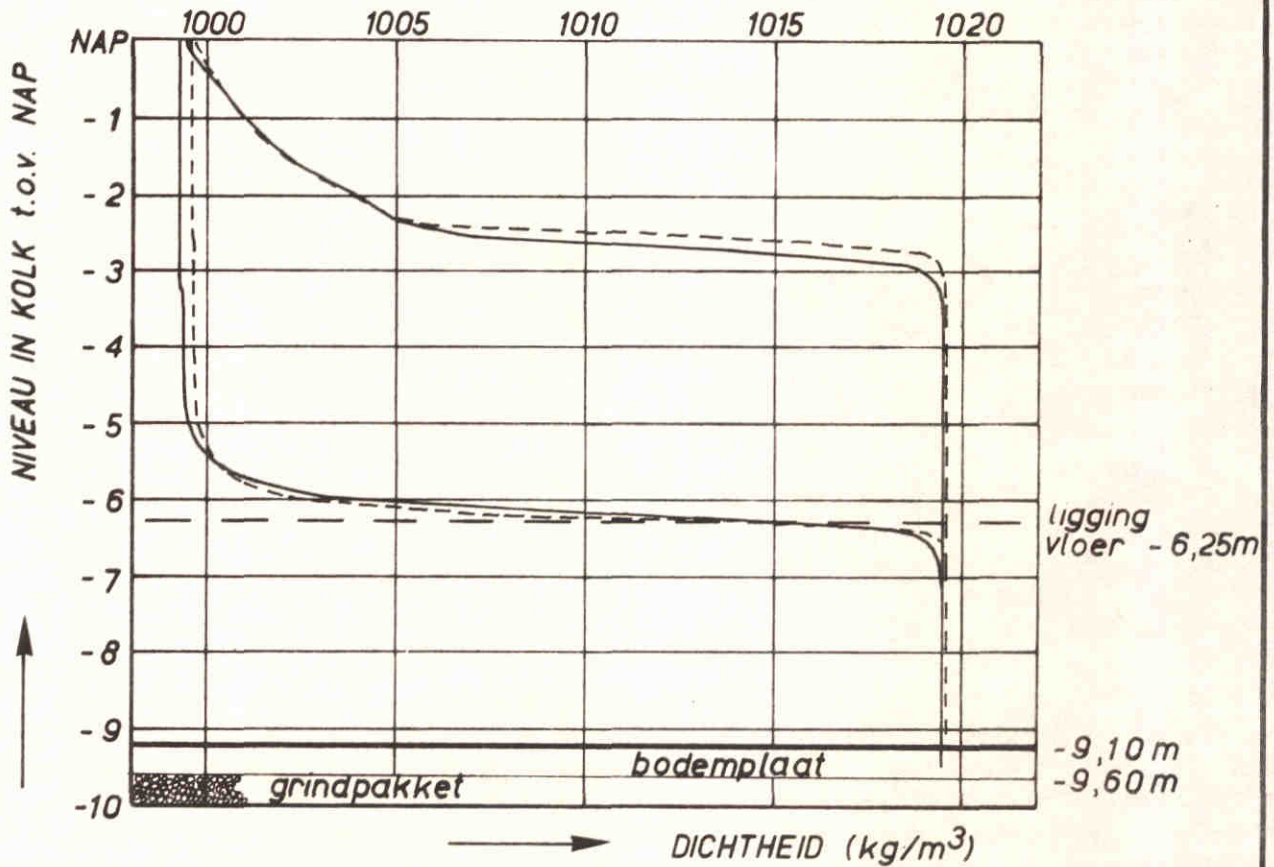
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,00 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,56 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



————— GEEN DEBIETPROGRAMMAMERING PROEF 204^a (-2,56)*
 - - - - - DEBIETPROGRAMMERING PROEF 231 (-2,45)

PROEVEN MET SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF

$\Delta p = 20 \text{ kg/m}^3$

INVLOED DEBIETPROGRAMMERING

$v_{\text{grensvlak}} = \text{VAR.}$

A₄

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1155

FIG.55

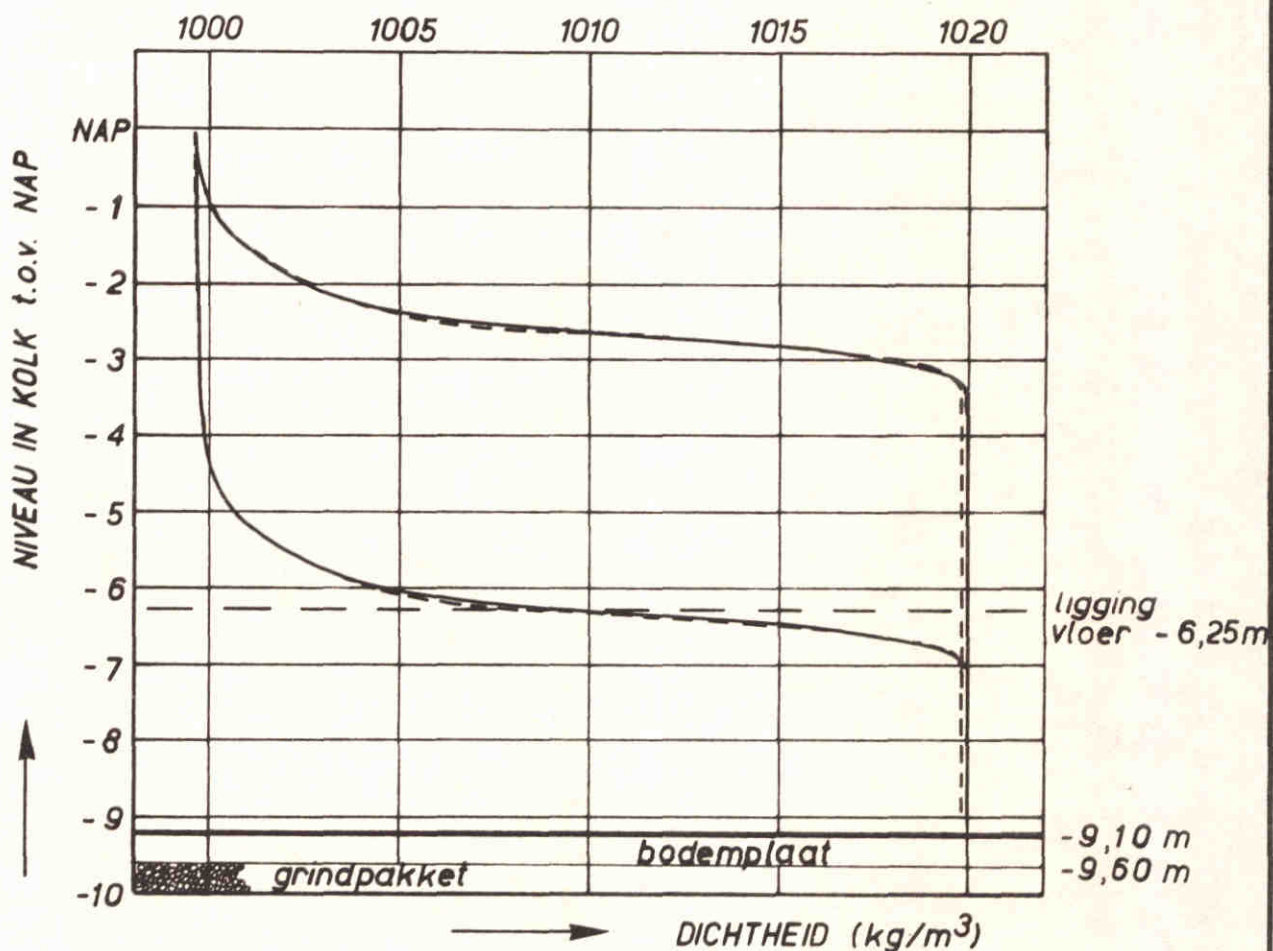
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. - 1.00 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2.52 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



— SCHUIFSNELHEID 0,005 m/s PROEF 230^b (-2,52)*

--- SCHUIFSNELHEID 0,010 m/s PROEF 234 (-2,53)

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED DEBIETPROGRAMMERING

$\Delta p = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = \text{VAR.}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1156

FIG 56

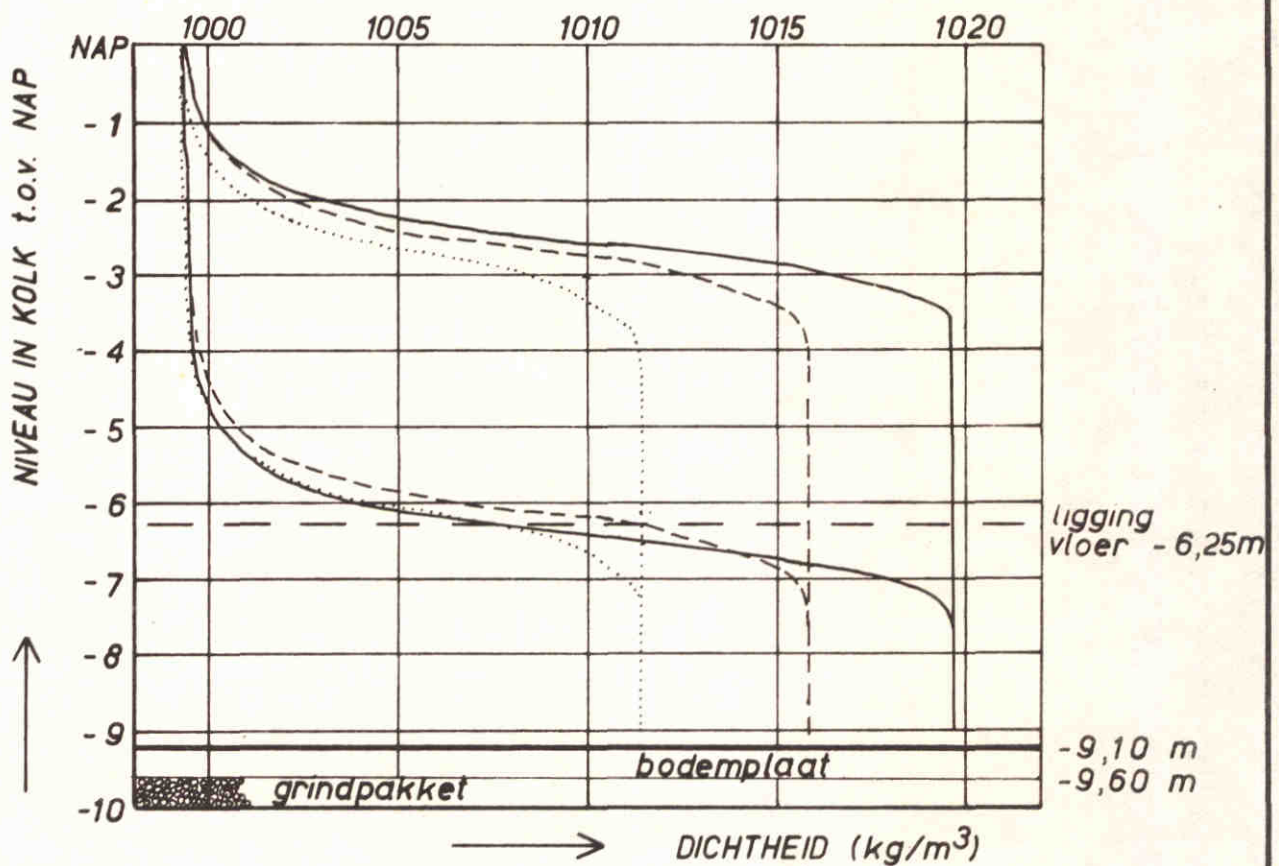
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -0,70 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,48m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



————— $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ PROEF 200^b (-2,48) *

----- $\Delta\rho = 16 \text{ kg/m}^3$ PROEF 244 (-2,54)

..... $\Delta\rho = 12 \text{ kg/m}^3$ PROEF 240 (-2,58)

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF

$\Delta\rho = \text{VARIABEL}$

INVLOED DICHTHEIDSVerschIL

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A₄

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1157

FIG. 57

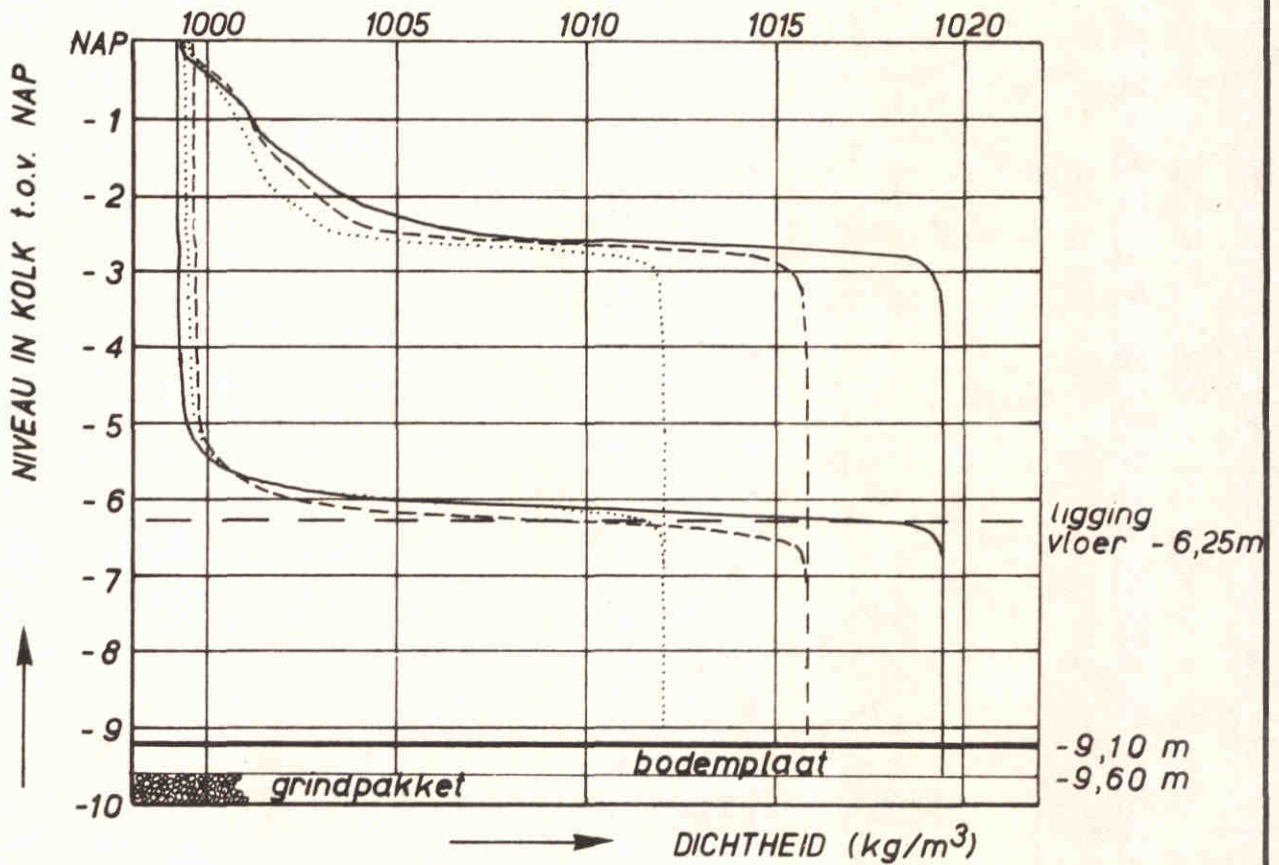
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -0,70 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,52m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



- $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ PROEF 203 (-2,52)*
- $\Delta\rho = 16 \text{ kg/m}^3$ PROEF 246 (-2,52)
- $\Delta\rho = 12 \text{ kg/m}^3$ PROEF 242 (-2,53)

PROEVEN MET SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED DICHTHEIDSVERSCHIL

$\Delta\rho = \text{VARIABEL}$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1158

FIG. 58

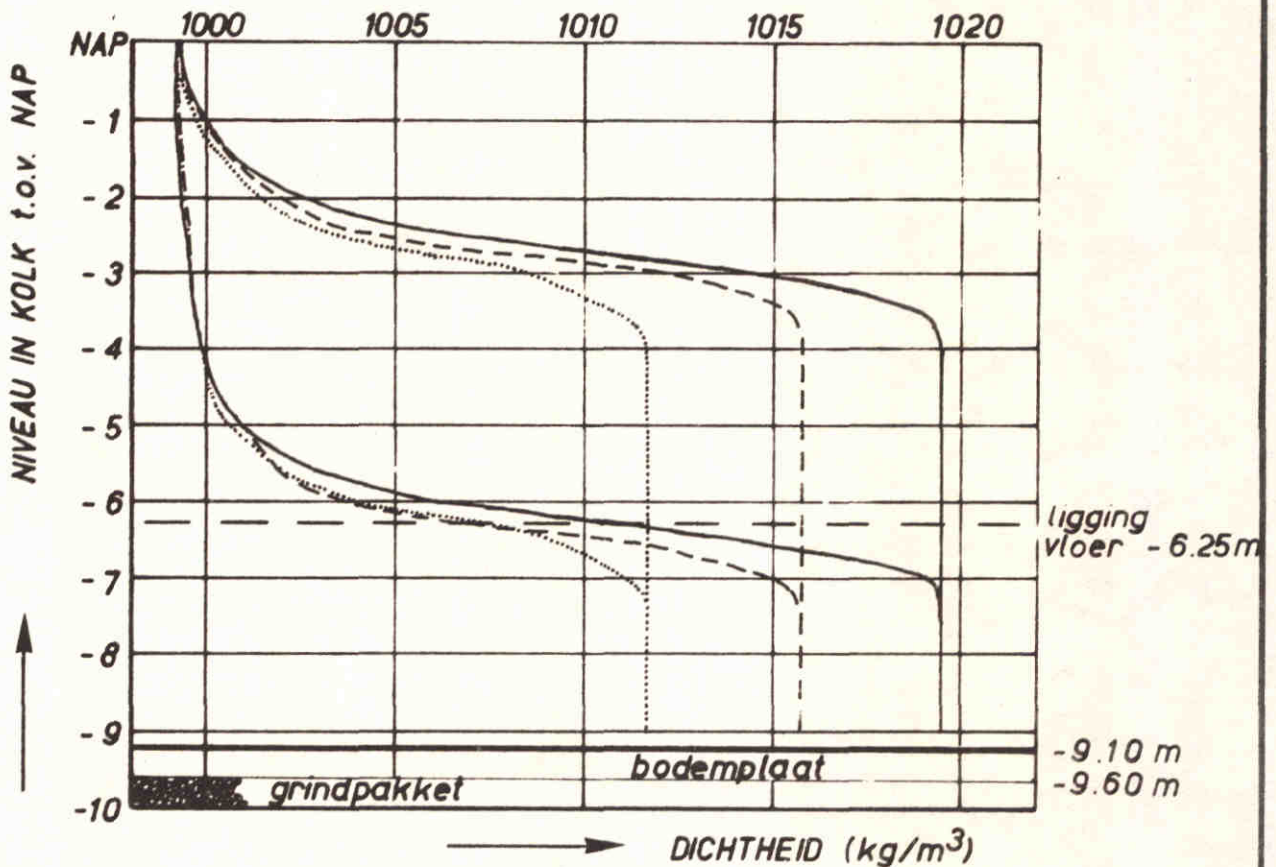
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,54 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



— $\Delta P = 20 \text{ kg/m}^3$ PROEF 202 (-2,54)*
- - - $\Delta P = 16 \text{ kg/m}^3$ PROEF 245 (-2,59)
..... $\Delta P = 12 \text{ kg/m}^3$ PROEF 241 (-2,61)

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF

$\Delta P = \text{VARIABEL}$

INVLOED DICHTHEIDSVerschIL

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1159

FIG. 59

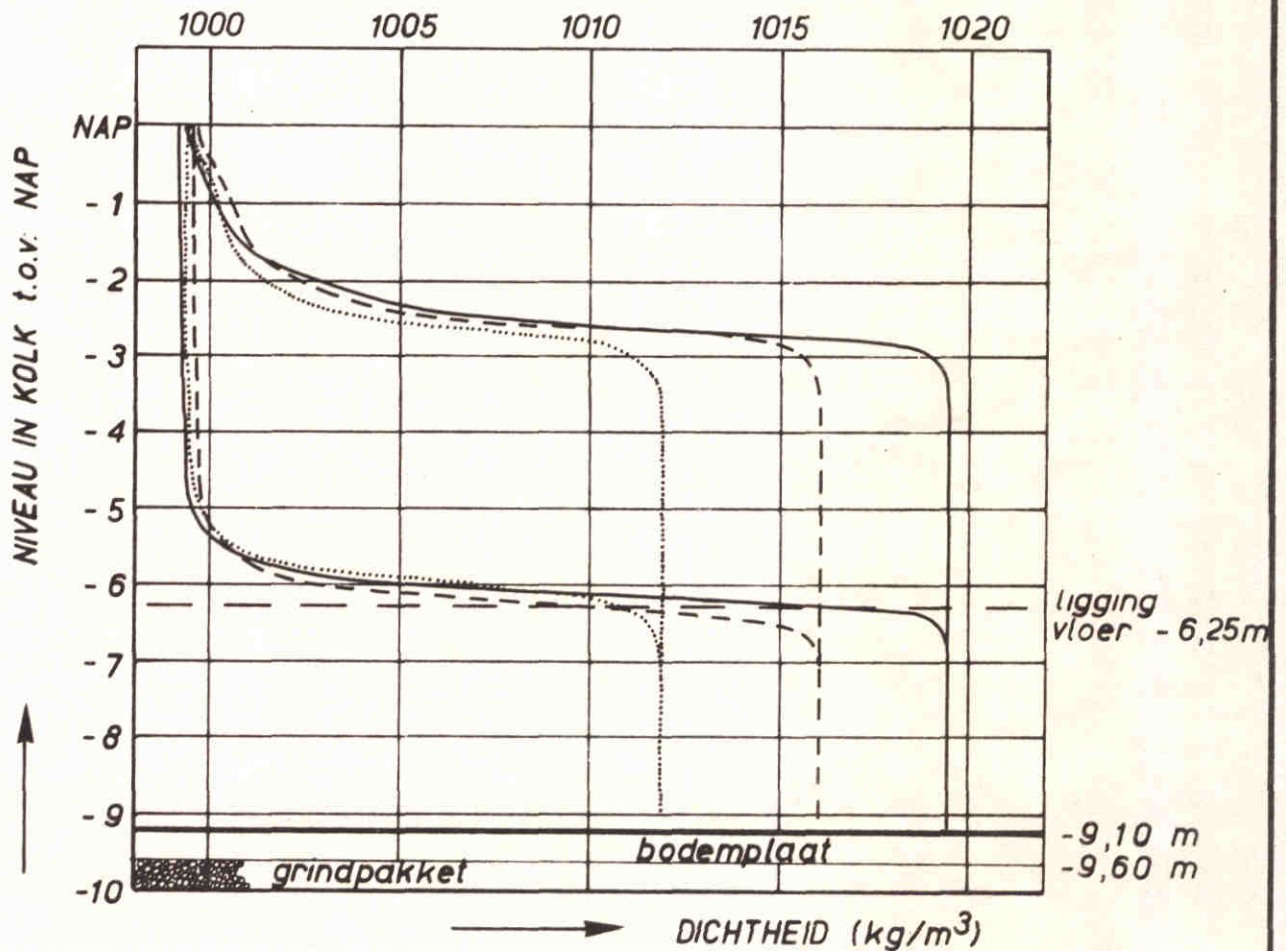
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,57 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



- $\Delta \rho = 20 \text{ kg/m}^3$ PROEF 205 (-2,57) *
- - - $\Delta \rho = 16 \text{ kg/m}^3$ PROEF 247 (-2,54)
- $\Delta \rho = 12 \text{ kg/m}^3$ PROEF 243 (-2,61)

PROEVEN MET SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED DICHTHEIDSVerschil

$\Delta \rho = \text{VARIABEL}$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1160

FIG. 60

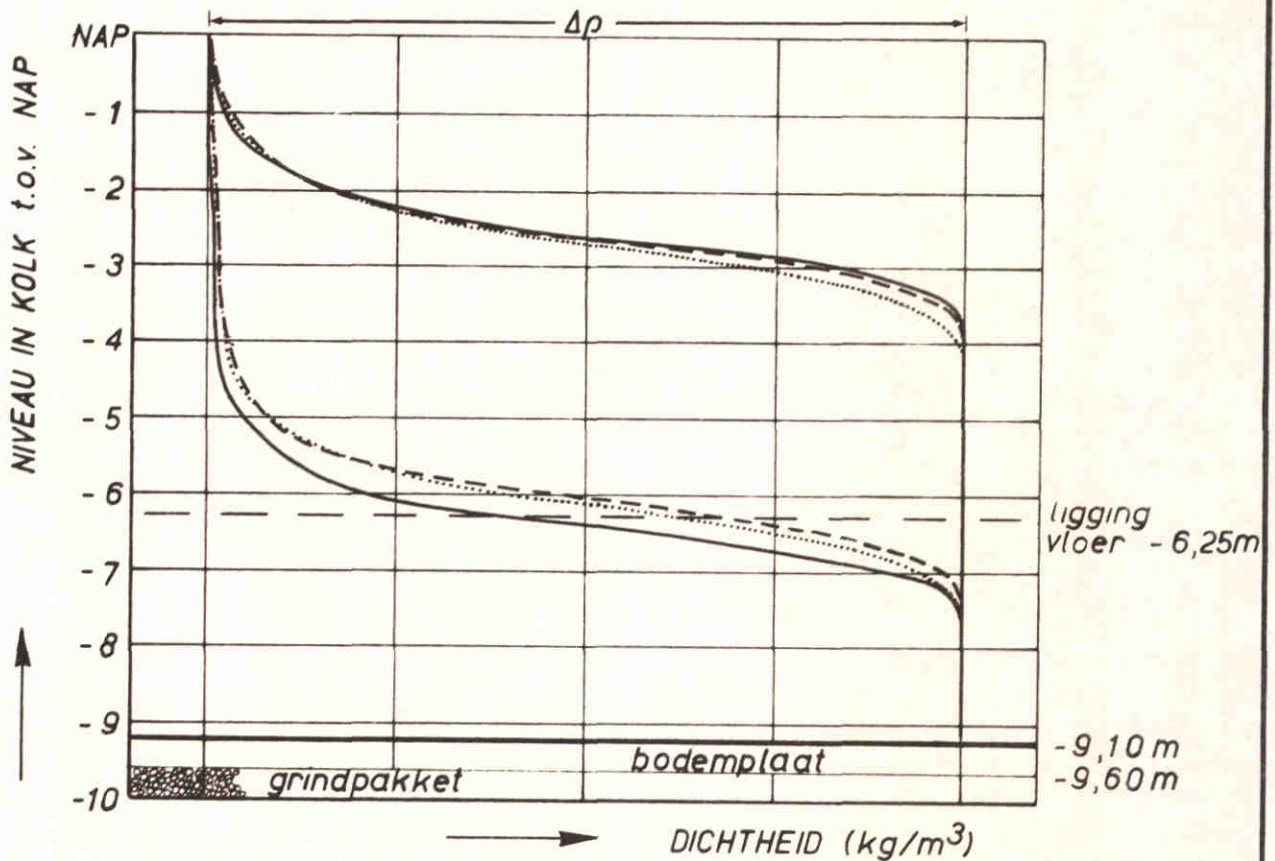
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -0,70 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,48 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



- $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ PROEF 200^b (-2,48) *
- - - $\Delta\rho = 16 \text{ kg/m}^3$ PROEF 244 (-2,54)
- $\Delta\rho = 12 \text{ kg/m}^3$ PROEF 240 (-2,58)

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED DICHTHEIDSVERSCHIL

$\Delta\rho = \text{VARIABEL}$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A₄

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1161

FIG. 61

UITWISSELINGSVOLUME IS HET VOLUME TUSSEN N.A.P EN N.A.P -6,25 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU BIJV. (N.A.P. -2,58 m)

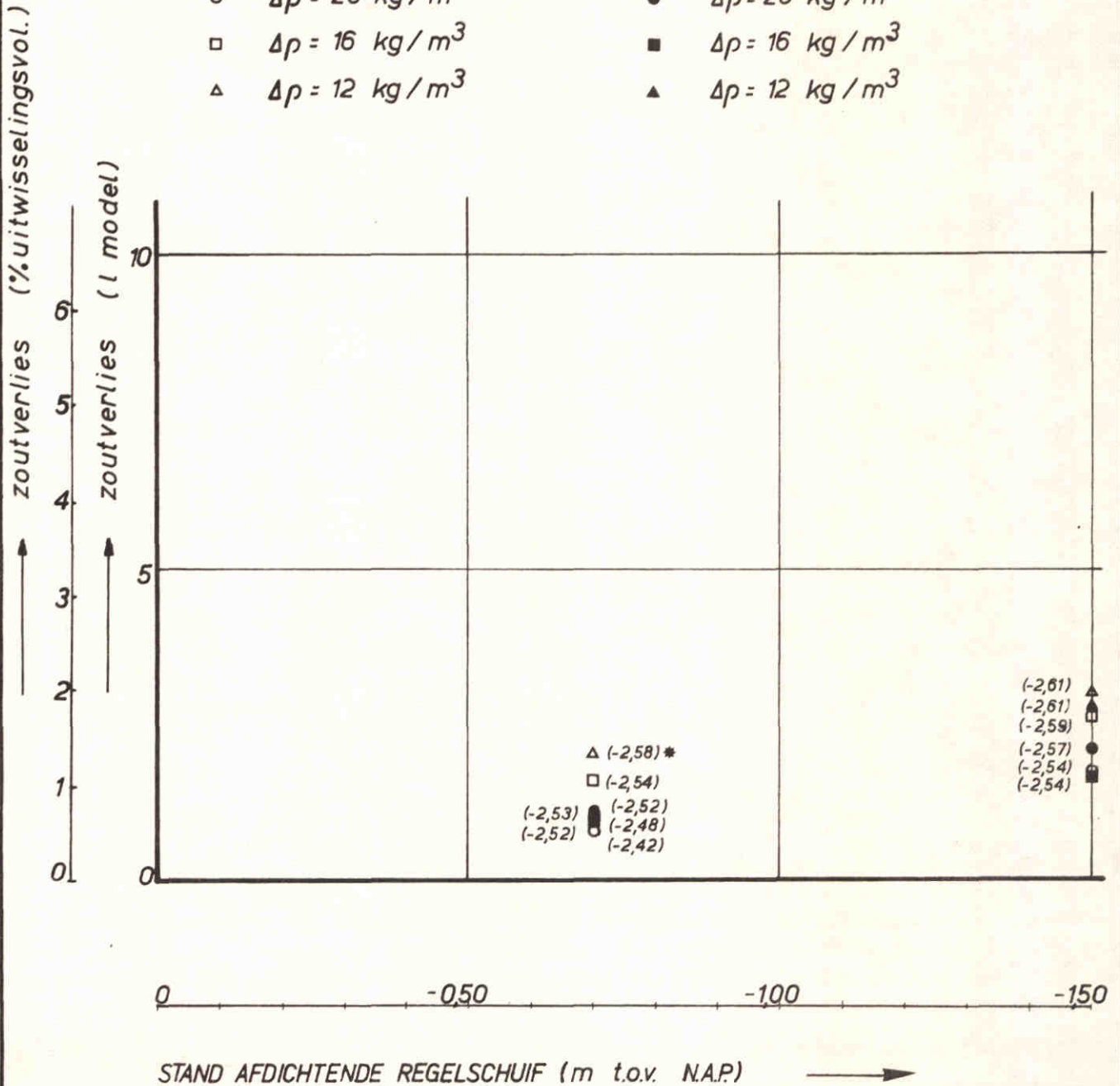
WATERSTAND BIJ OPENEN REGELSCHUIF \approx N.A.P.

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

- $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$
- $\Delta\rho = 16 \text{ kg/m}^3$
- △ $\Delta\rho = 12 \text{ kg/m}^3$

PROEVEN MET SCHEPEN

- $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$
- $\Delta\rho = 16 \text{ kg/m}^3$
- ▲ $\Delta\rho = 12 \text{ kg/m}^3$



ZOUTVERLIES ALS FUNCTIE VAN DE STAND VAN DE AFDICHTENDE REGELSCHUIF BIJ VARIEREND DICHTHEIDSVERSCHIL

$\Delta\rho = \text{VARIABEL}$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431 - 1162

FIG. 62

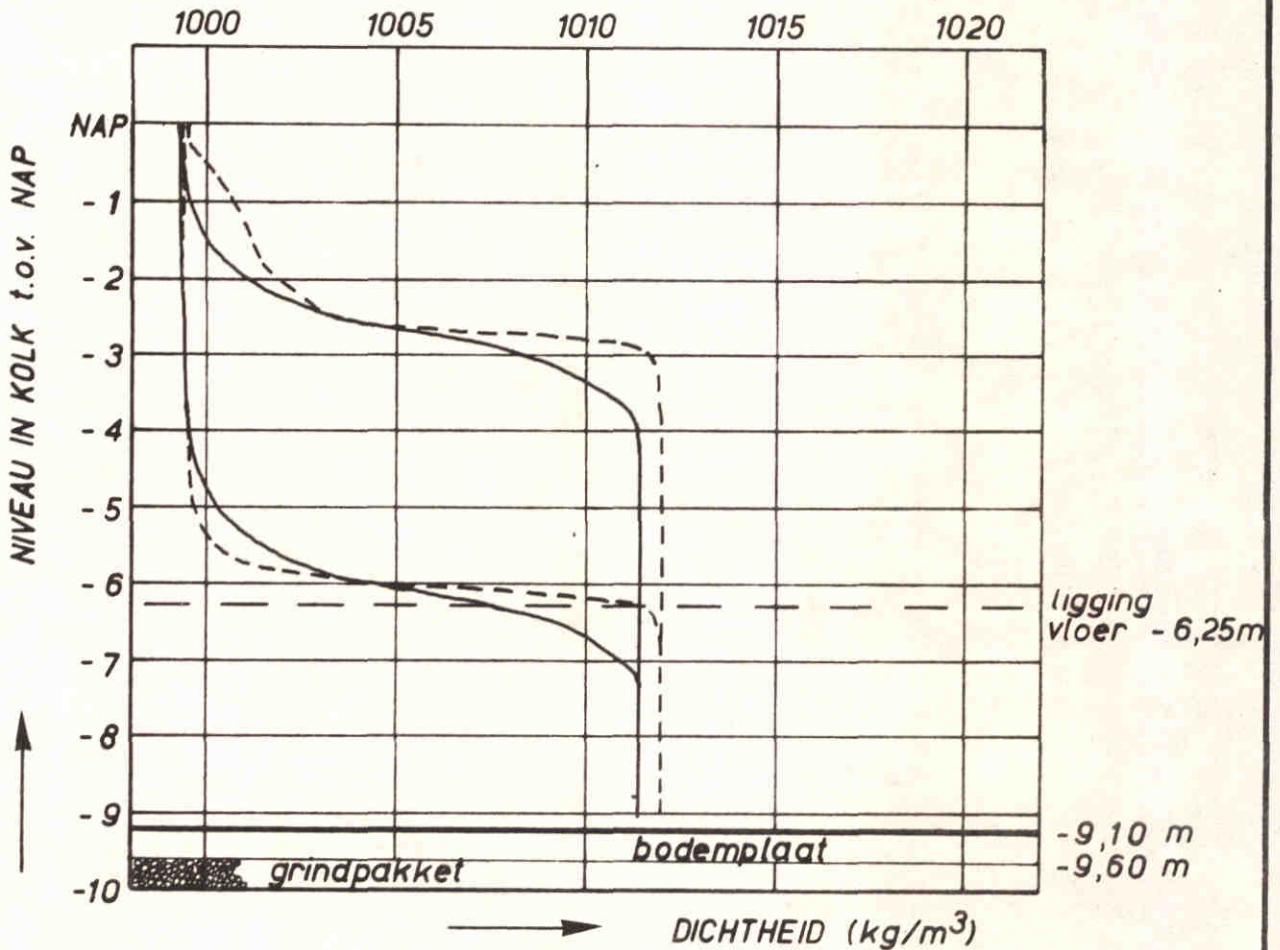
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -0,70 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,58 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



— PROEF ZONDER SCHEPEN PROEF 240 (-2,58)*

- - - PROEF MET SCHEPEN PROEF 242 (-2,53)

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED SCHEPEN BIJ $\Delta \rho = 12 \text{ kg/m}^3$

$\Delta \rho = 12 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1163

FIG 63

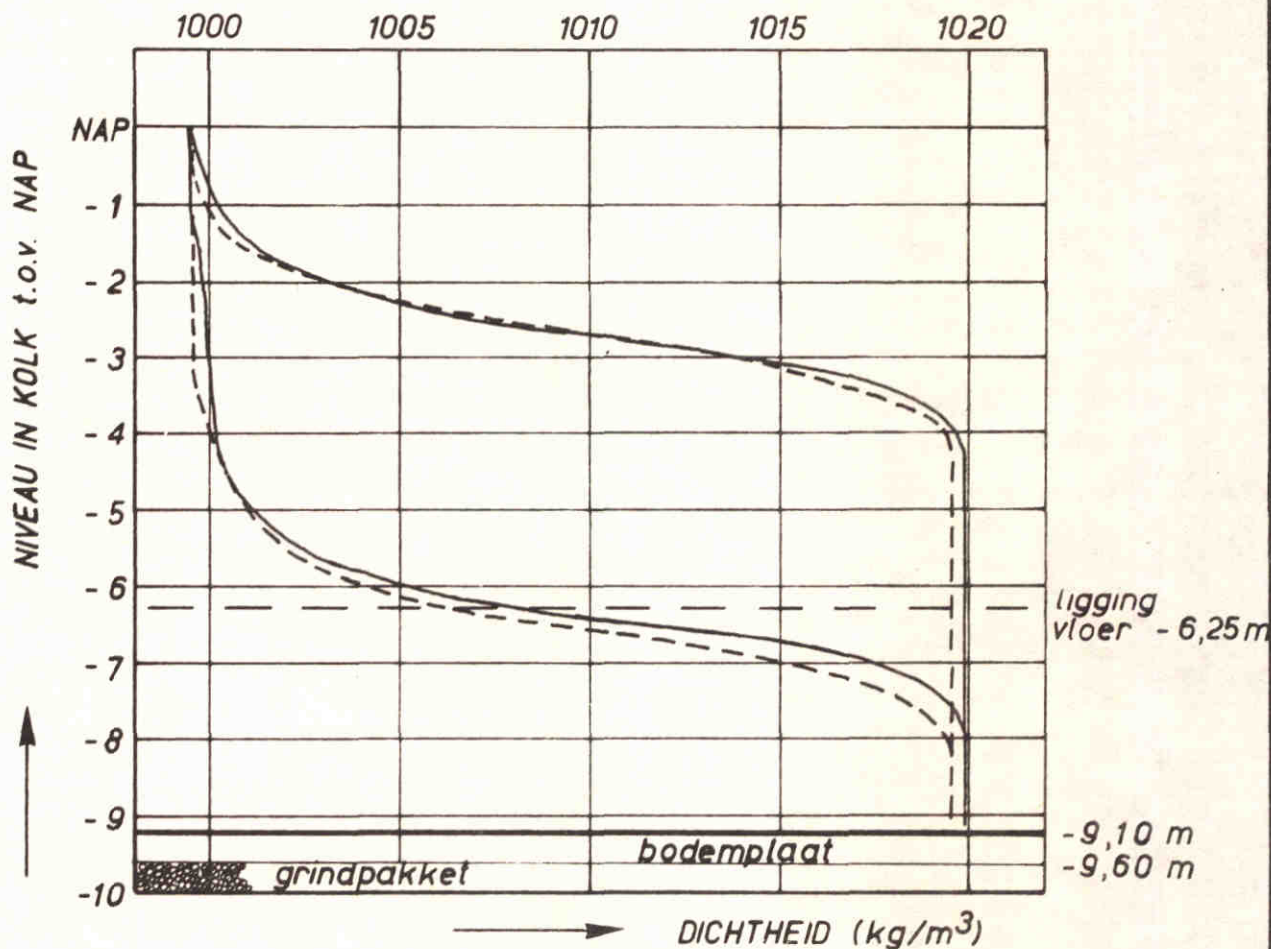
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,62 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



- EENZIJDIG UITWISSELEN 12 m BREDE SLUISKOLK PROEF 302 (-2,62) *
- - - TWEEZIJDIG UITWISSELEN 24 m BREDE SLUISKOLK PROEF 1101^d (-2,47) [2]

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
 VERGELIJKING EENZIJDIG UITWISSELEN 12 m BREDE
 SLUISKOLK EN TWEEZIJDIG UITWISSELEN 24 m BREDE
 SLUISKOLK

$\Delta P = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

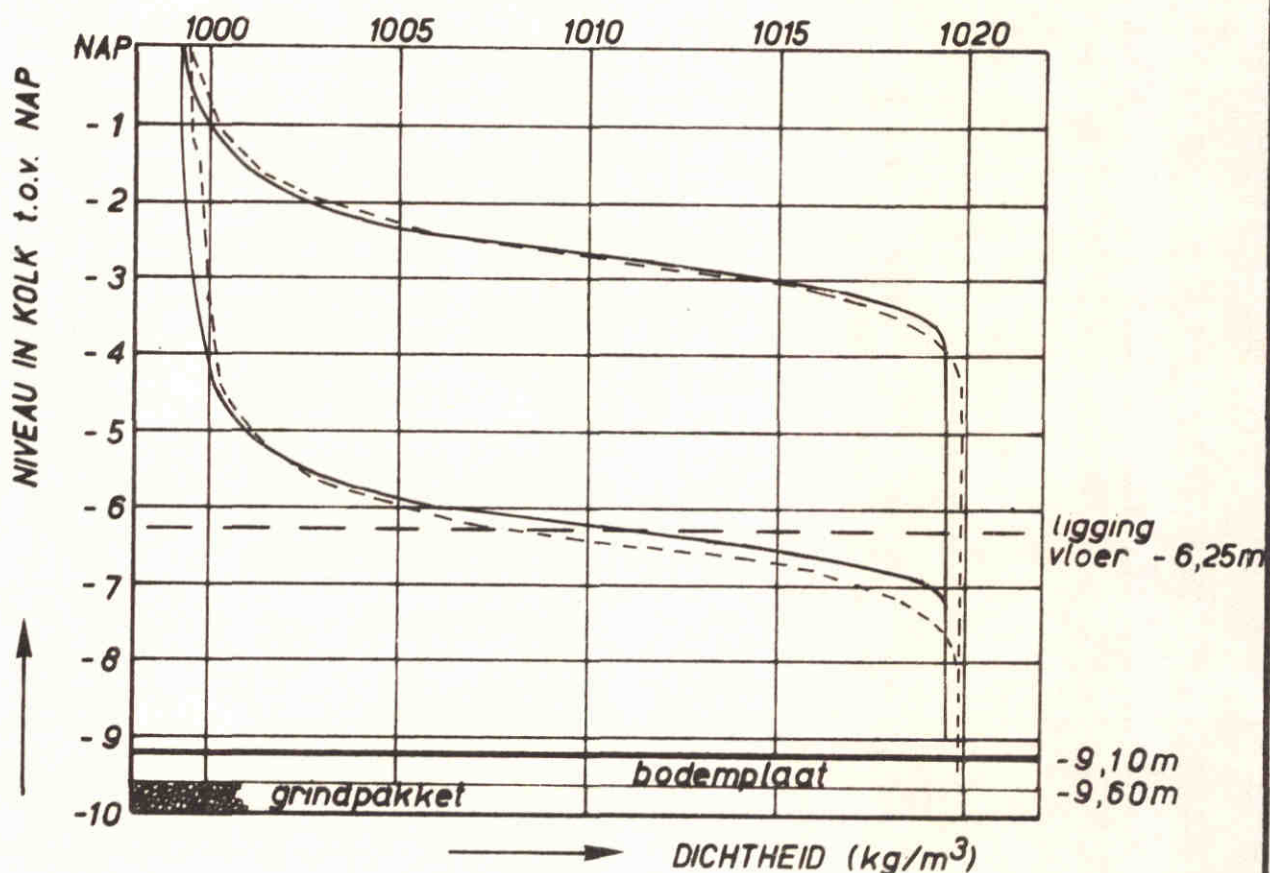
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,54 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



———— TWEEZIJDIG UITWISSELEN PROEF 202 (-2,54)*
GRENSVLAKSNELHEID 0,010 m/s

- - - - - EENZIJDIG UITWISSELEN PROEF 302 (-2,62)
GRENSVLAKSNELHEID 0,010 m/s

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED EENZIJDIG UITWISSELEN

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1165

FIG. 65

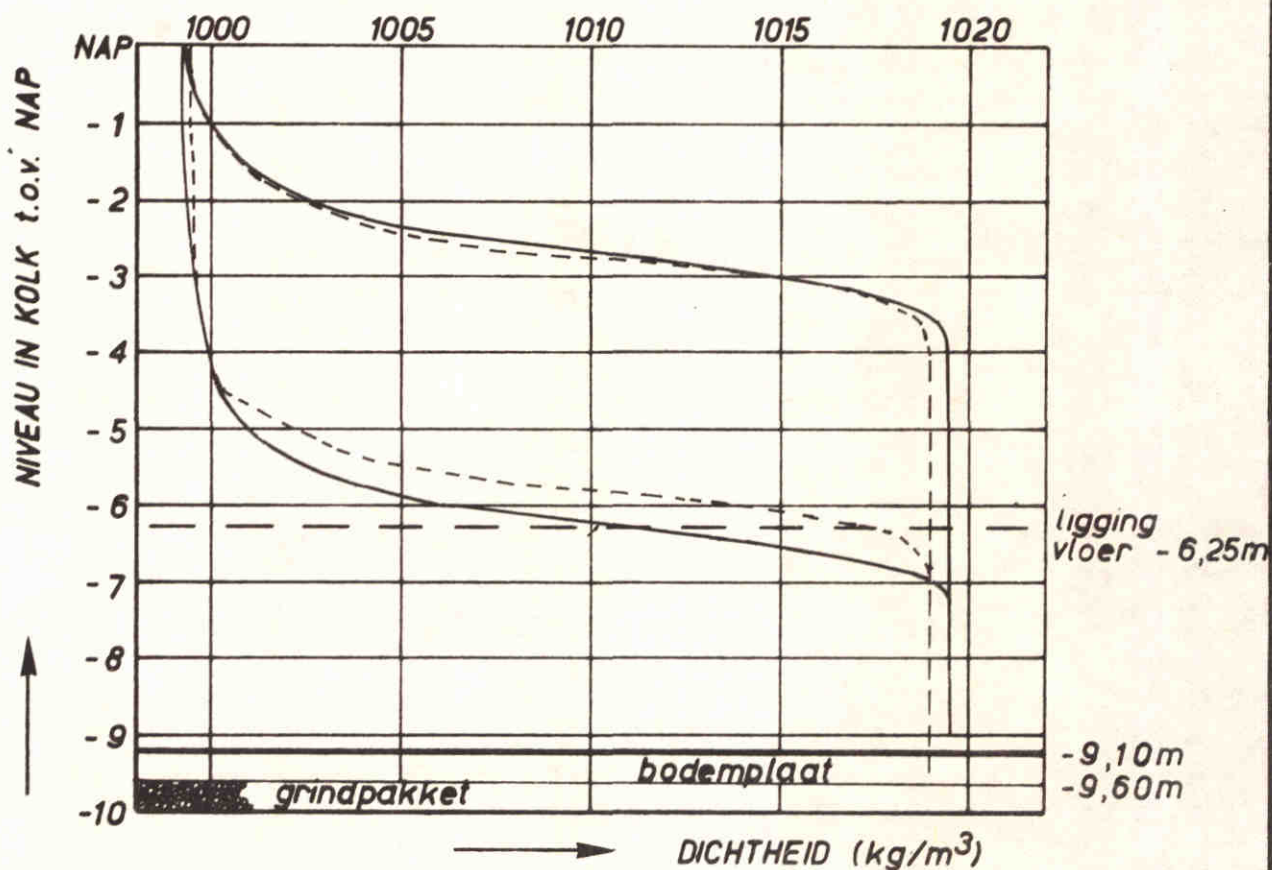
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,54 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



— TWEEZIJDIG UITWISSELEN PROEF 202 (-2,54)*
GRENSVLAKSNELHEID 0,010 m/s

- - - EENZIJDIG UITWISSELEN PROEF 308 (-2,57)
GRENSVLAKSNELHEID 0,005 m/s

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

INVLOED EENZIJDIG UITWISSELEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1166

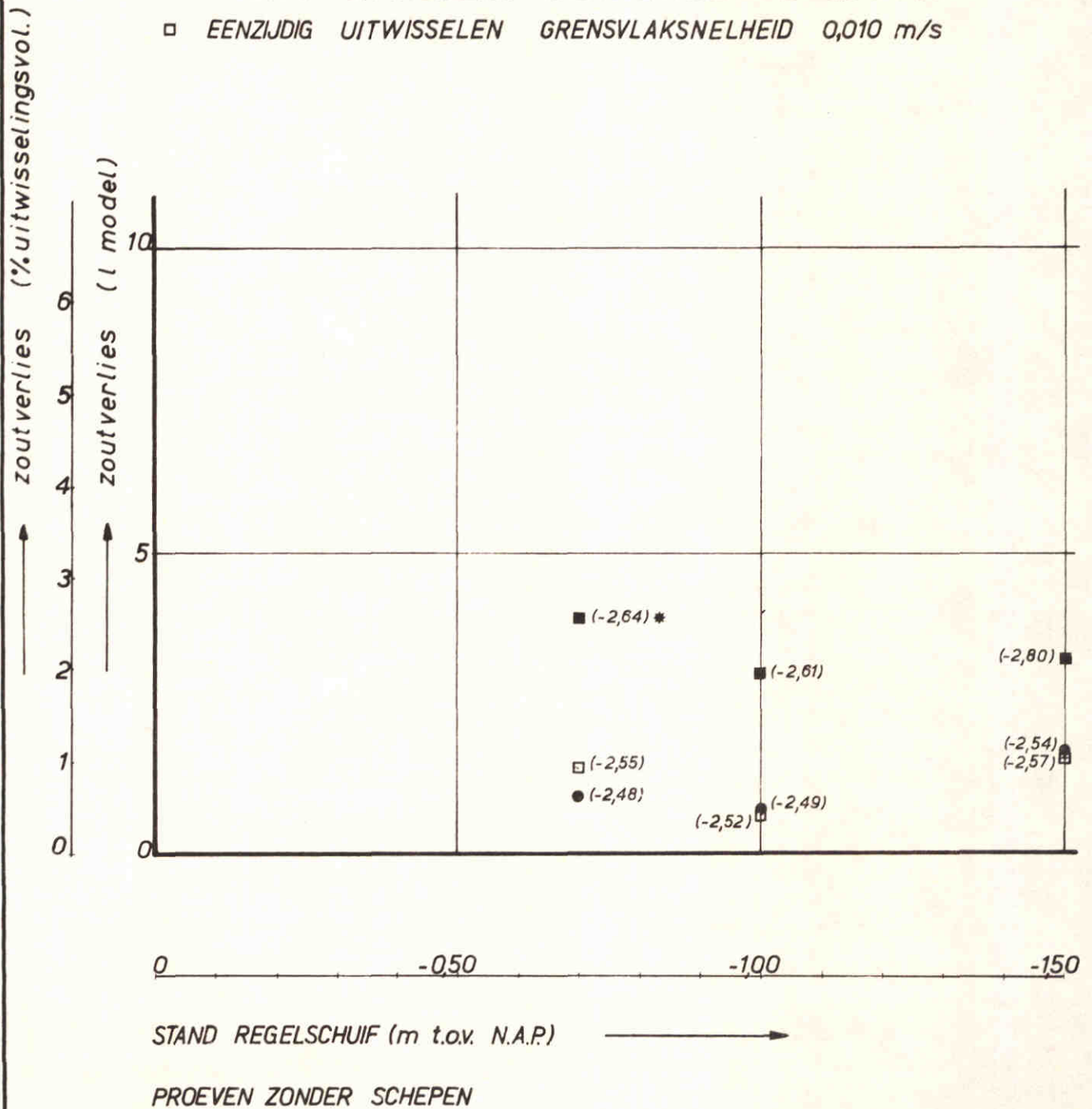
FIG. 66

UITWISSELINGSVOLUME IS HET VOLUME TUSSEN N.A.P. EN N.A.P. -6,25 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,64 m)

WATERSTAND BIJ OPENEN REGELSCHUIF \approx N.A.P.

- TWEEZIJDIG UITWISSELEN GRENSVLAKSNELHEID 0,010 m/s
- EENZIJDIG UITWISSELEN GRENSVLAKSNELHEID 0,010 m/s
- EENZIJDIG UITWISSELEN GRENSVLAKSNELHEID 0,010 m/s



ZOUTVERLIES ALS FUNCTIE VAN DE STAND VAN DE
AFDICHTENDE REGELSCHUIF BIJ EEN- EN TWEEZIJDIG
UITWISSELEN

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = \text{VARIABEL}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431 - 1167

FIG. 67

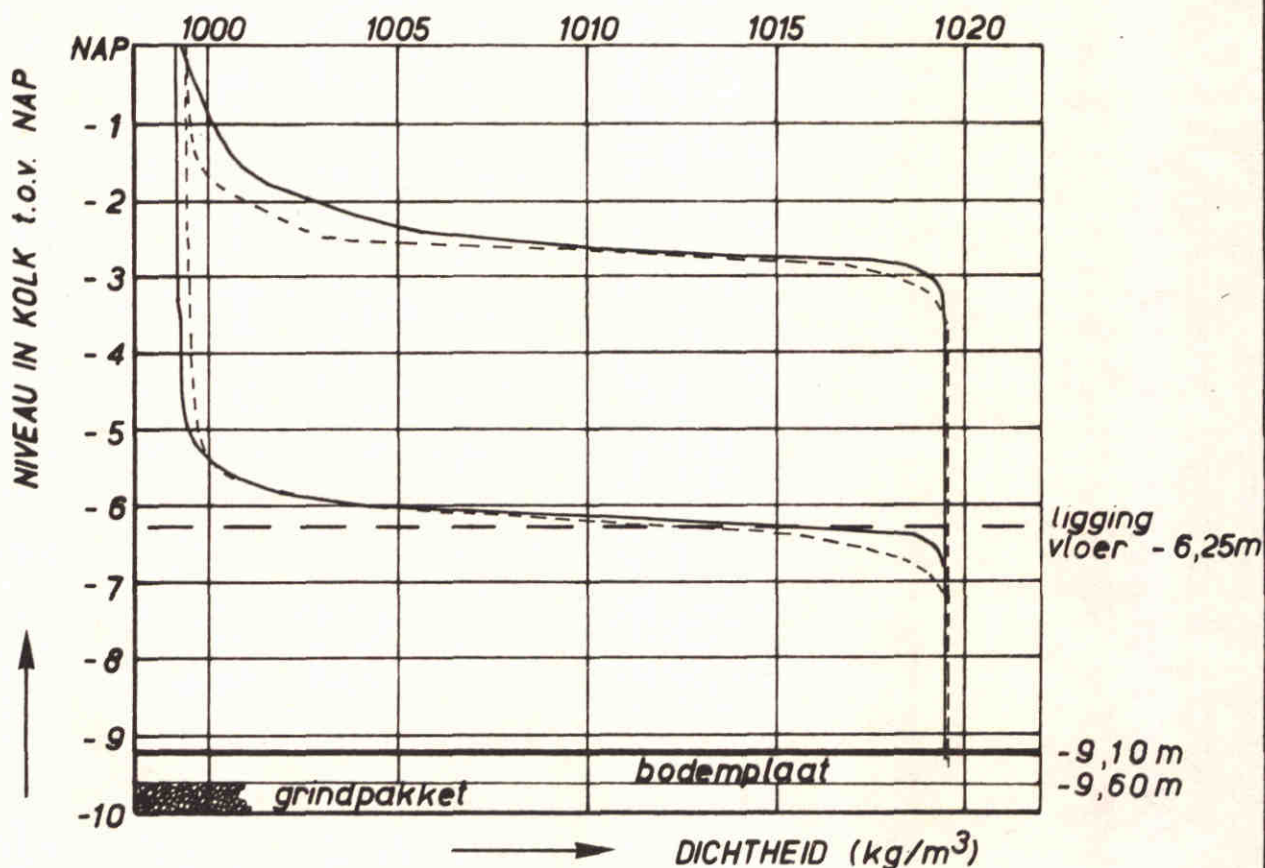
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,57 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



———— TWEEZIJDIG UITWISSELEN PROEF 205 (-2,57)*
GRENSVLAKSNELHEID 0,010 m/s

----- EENZIJDIG UITWISSELEN PROEF 311 (-2,69)
GRENSVLAKSNELHEID 0,005 m/s

PROEVEN MET SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

INVLOED EENZIJDIG UITWISSELEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431 - 1168

FIG. 68

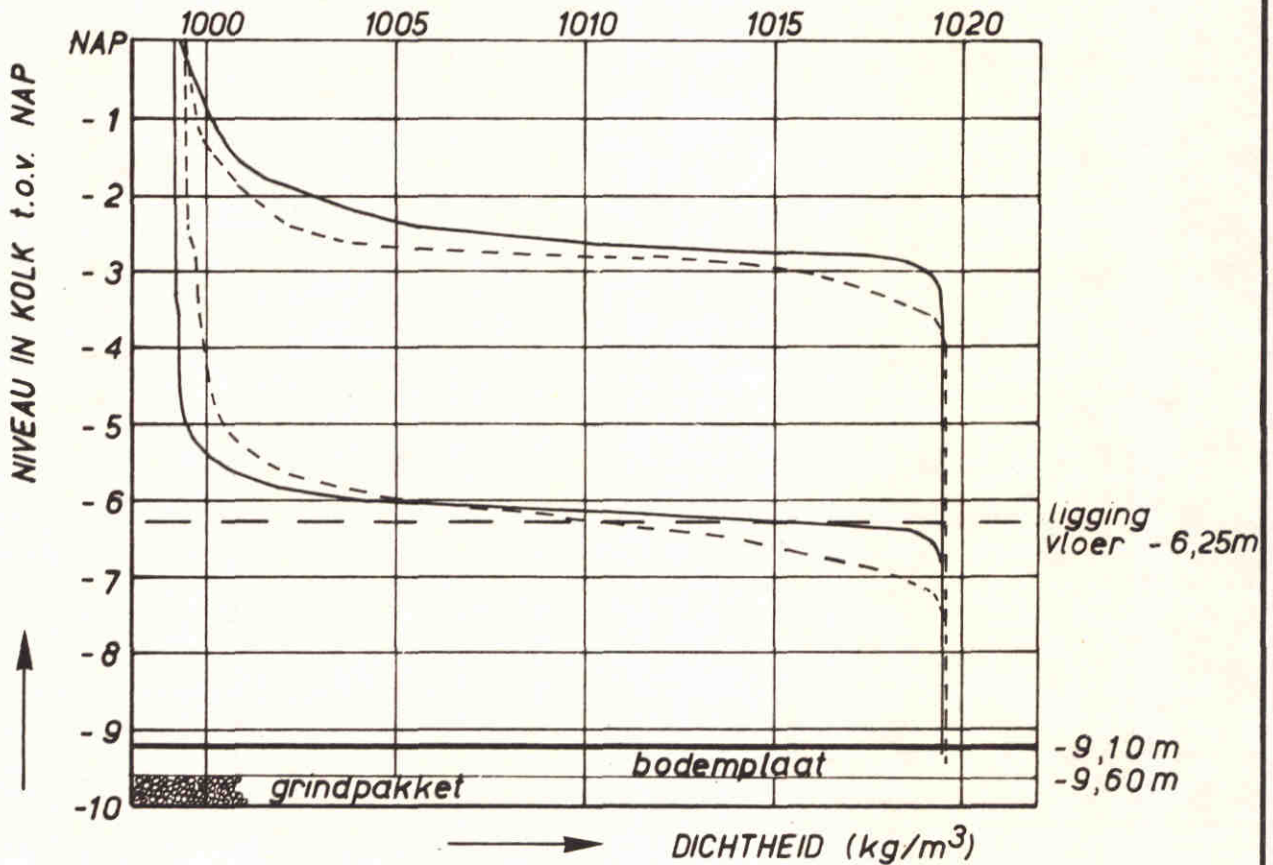
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,57 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



— TWEEZIJDIG UITWISSELEN PROEF 205 (-2,57)*
GRENZVLAKSNELHEID 0,010 m/s

- - - EENZIJDIG UITWISSELEN PROEF 305 (-2,80)
GRENZVLAKSNELHEID 0,010 m/s

PROEVEN MET SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
INVLOED EENZIJDIG UITWISSELEN

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1169

FIG.69

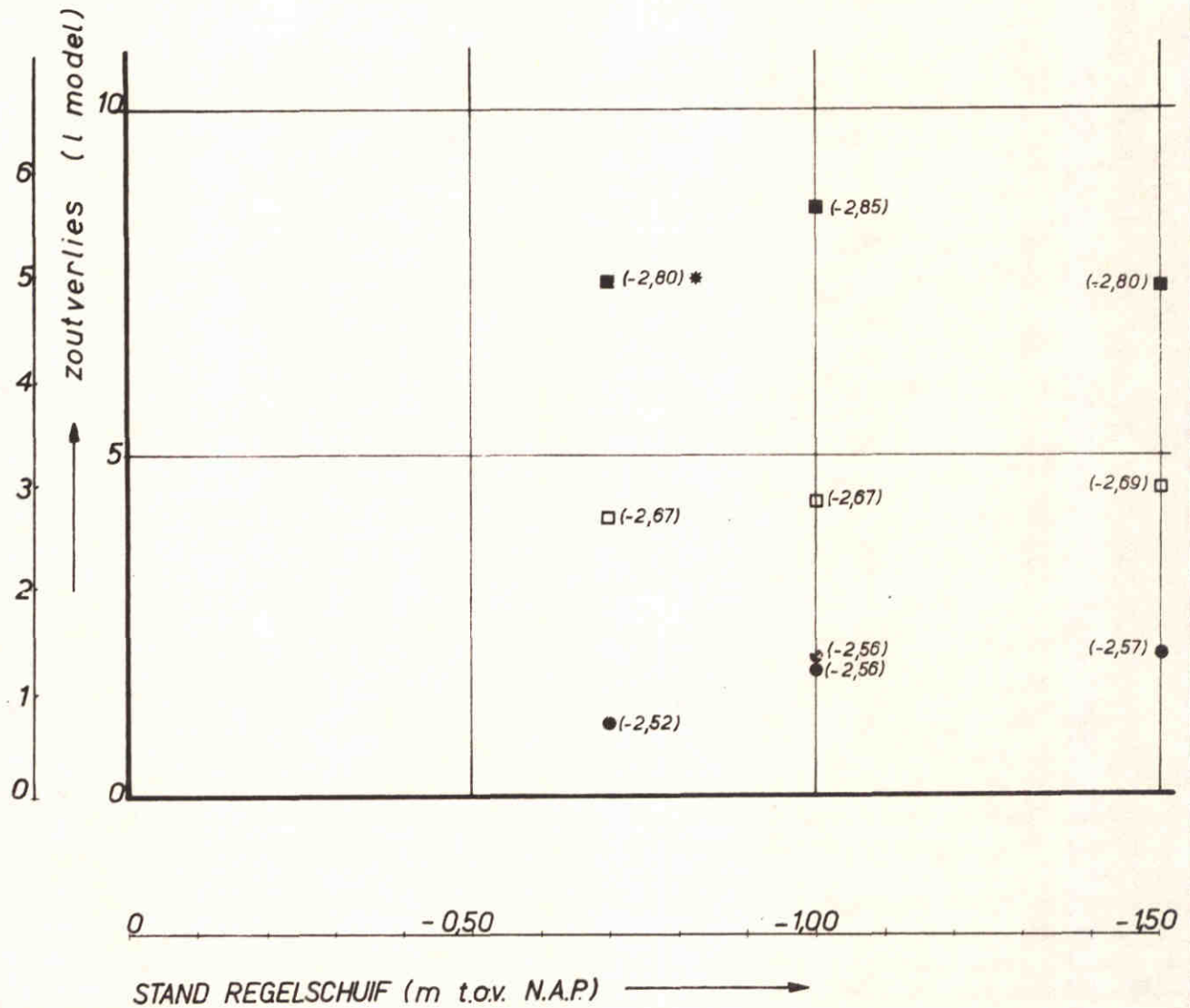
UITWISSELINGSVOLUME IS HET VOLUME TUSSEN N.A.P. EN N.A.P. -6.25 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,80 m)

WATERSTAND BIJ OPENEN REGELSCHUIF \approx N.A.P.

- TWEEZIJDIG UITWISSELEN GRENSVLAKSNELHEID 0,010 m/s
- EENZIJDIG UITWISSELEN GRENSVLAKSNELHEID 0,010 m/s
- EENZIJDIG UITWISSELEN GRENSVLAKSNELHEID 0,005 m/s

zoutverlies (% uitwisselingsvol.)



PROEVEN MET SCHEPEN

ZOUTVERLIES ALS FUNCTIE VAN DE STAND VAN DE
AFDICHTENDE REGELSCHUIF BIJ EEN- EN TWEEZIJDIG
UITWISSELEN

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = \text{VARIABEL}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431 - 1170

FIG. 70

UITWISSELINGSVOLUME IS HET VOLUME TUSSEN N.A.P. EN N.A.P. - 6.25 m

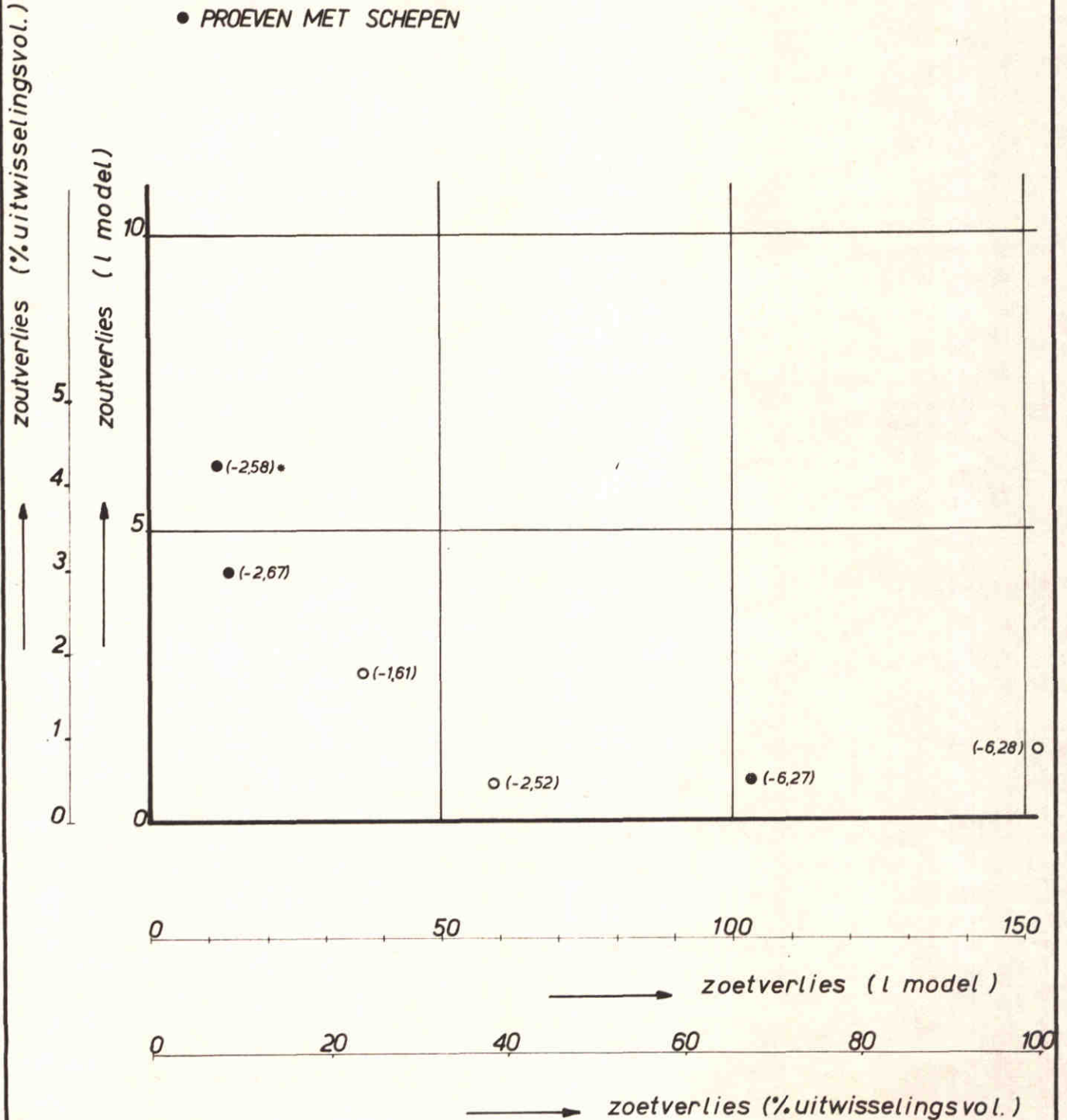
* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2.58 m)

WATERSTAND BIJ OPENEN AFDICHTENDE REGELSCHUIF \approx N.A.P.

STAND AFDICHTENDE REGELSCHUIF N.A.P. - 1.00 m

○ PROEVEN ZONDER SCHEPEN

● PROEVEN MET SCHEPEN



ZOUTVERLIES ALS FUNCTIE VAN HET ZOETVERLIES BIJ HET
EENZIJDIG UITWISSELEN BIJ DE KOLKWAND MET AFDICHTENDE
REGELSCHUIF

$\Delta p = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,005 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1431-1171

FIG. 71

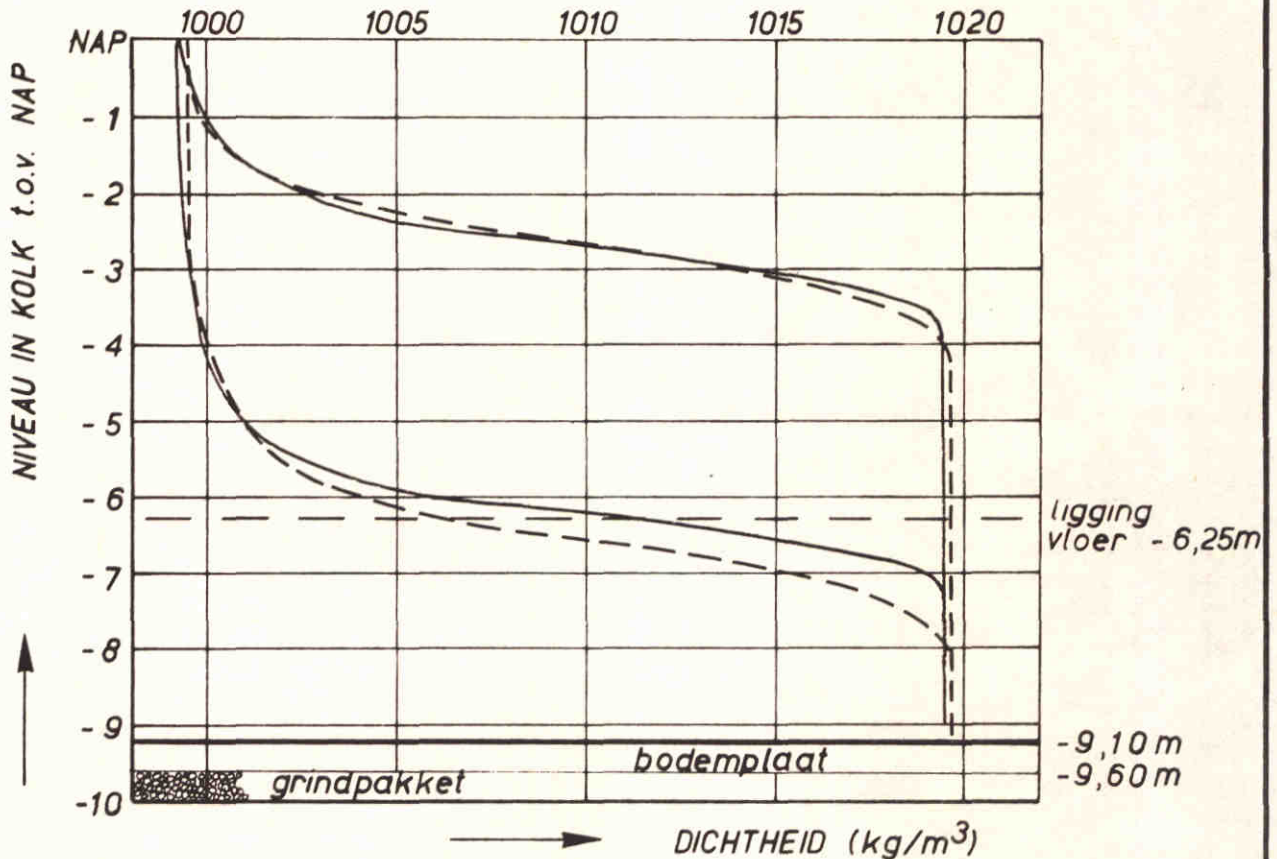
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. - 1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,54 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



— 12 m BREDE SLUISKOLK PROEF 202 (-2,54)*

- - - 24 m BREDE SLUISKOLK PROEF 1101^d (-2,47) [2]

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
VERGELIJKING 12 m EN 24 m BREDE SLUISKOLK
GELIJKE GRENSVLAKSNELHEID

$\Delta p = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1172

FIG 72

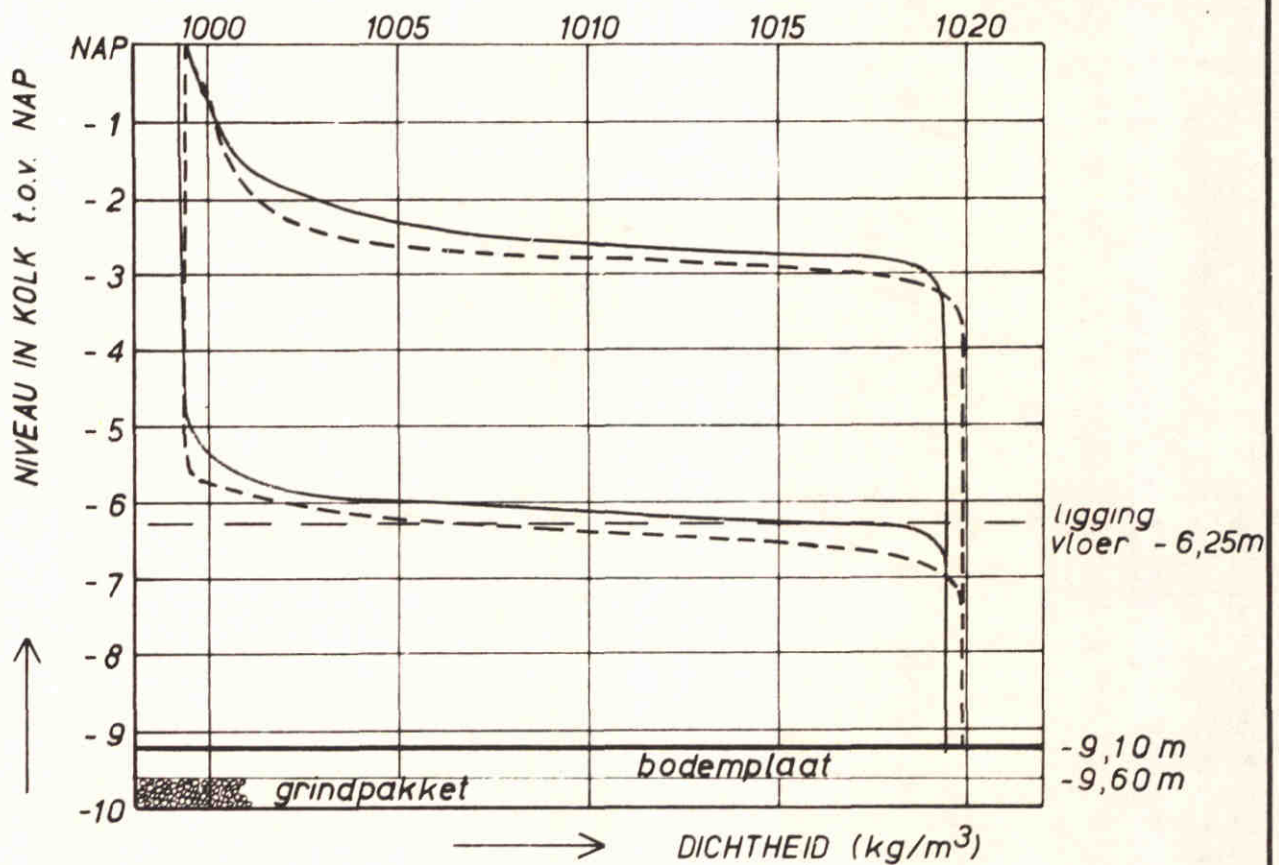
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,50 m

* THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,57 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



— 12m BREDE SLUISKOLK PROEF 205 (-2,57)*

--- 24m BREDE SLUISKOLK PROEF 1106^c (-2,63) [2]

PROEVEN MET SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
VERGELIJKING 12m EN 24m BREDE SLUISKOLK
GELIJKE GRENSVLAKSNELHEID

$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

$v_{\text{grensvlak}} = 0,01 \text{ m/s}$

A₄

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1173

FIG 73

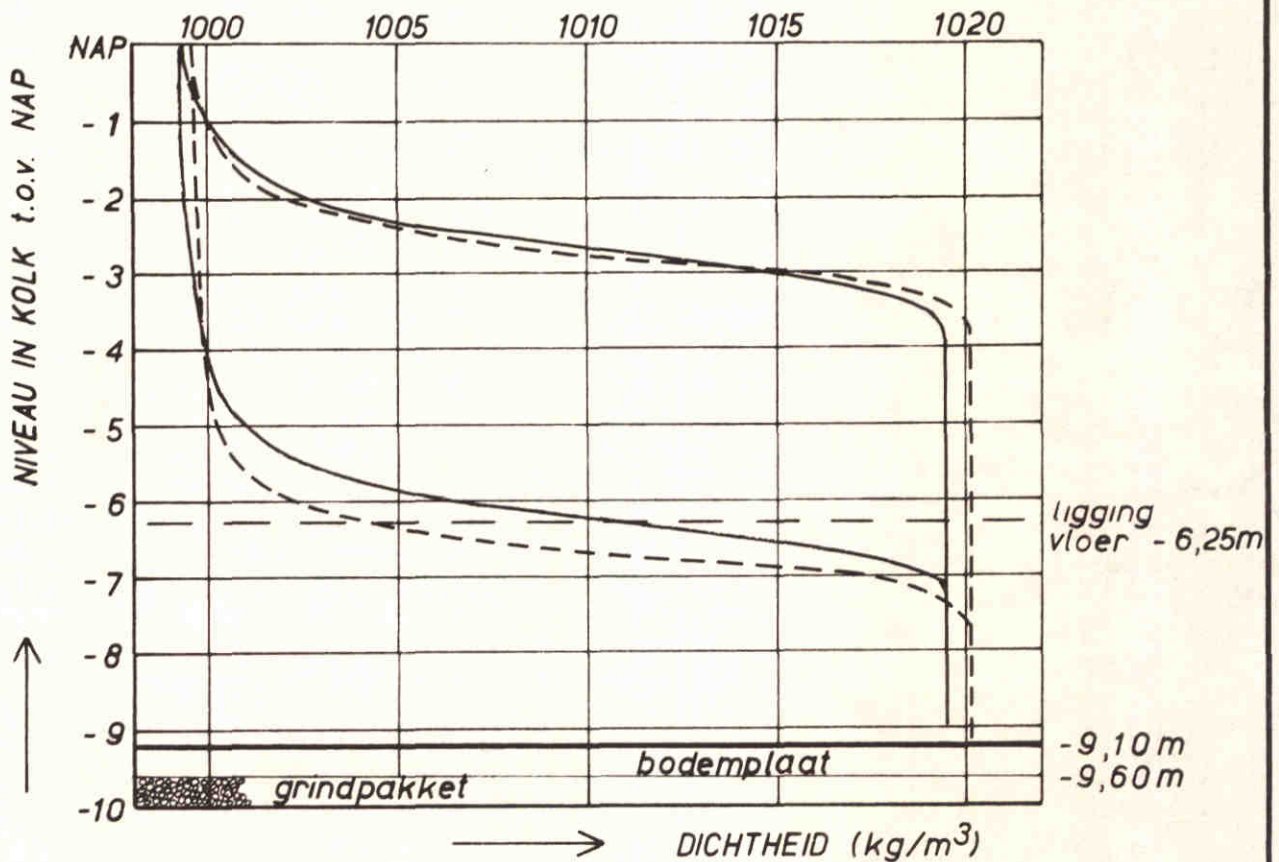
STAND REGELSCHUIF

N.A.P. -1,50 m

*THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. -2,54 m)

WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF

≈ N.A.P.



— 12m BREDE SLUISKOLK

$v_{\text{grensvlak}} = 0,010 \text{ m/s}$ PROEF 202 (-2,54)*

-- 24m BREDE SLUISKOLK

$v_{\text{grensvlak}} = 0,005 \text{ m/s}$ PROEF 1201^c (-2,61) [2]

PROEVEN ZONDER SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
VERGELIJKING 12 m EN 24 m BREDE SLUISKOLK
GELIJKE STROOMSNELHEID BOVEN REGELSCHUIF

$\Delta p = 20 \text{ kg/m}^3$

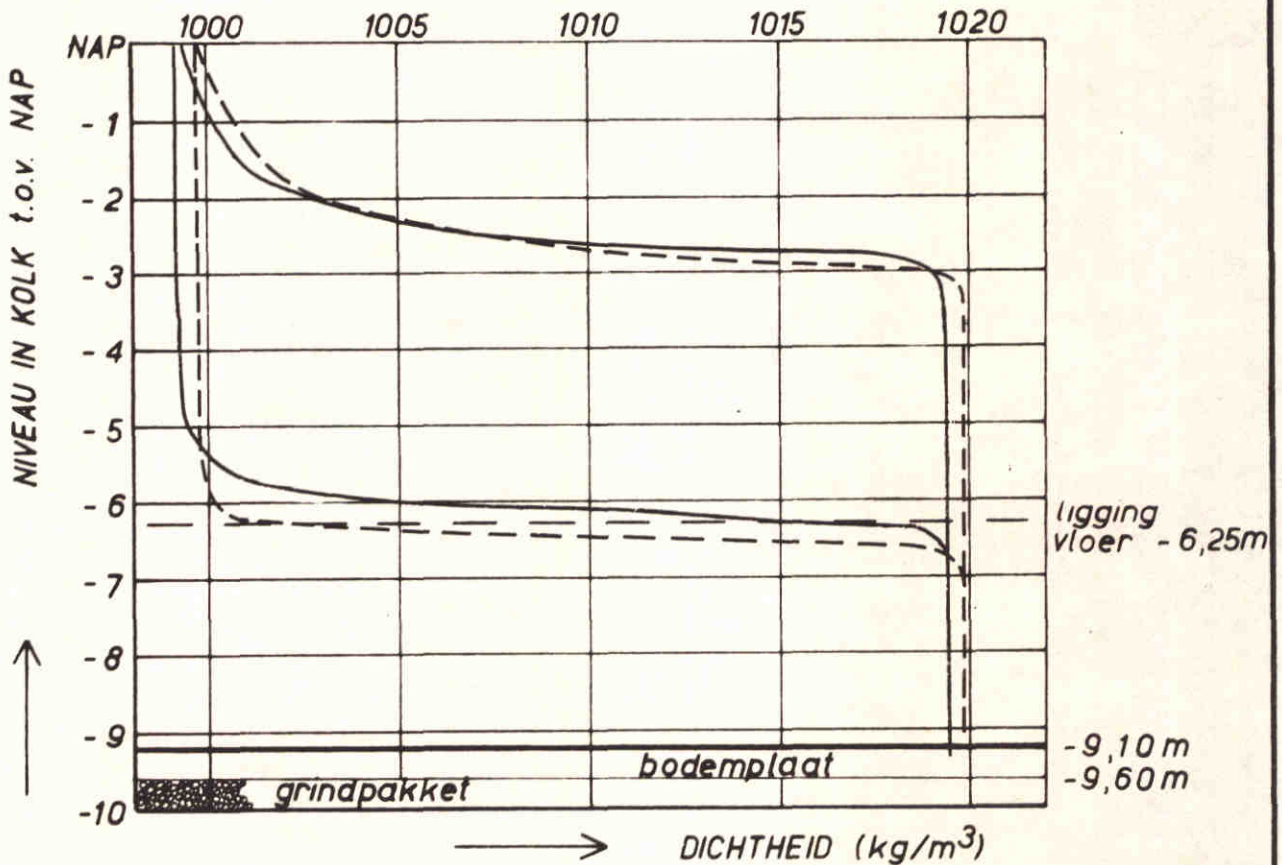
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1174

FIG 74

STAND REGELSCHUIF N.A.P. - 1,50 m
 *THEORETISCH OPTREDEND TERUGWINNIVEAU (N.A.P. - 2,57 m)
 WATERSTAND OPENEN REGELSCHUIF *N.A.P.



— 12 m BREDE SLUISKOLK $v_{\text{grensvlak}} = 0,010 \text{ m/s}$ PROEF 205 (-2,57) *
 -- 24 m BREDE SLUISKOLK $v_{\text{grensvlak}} = 0,005 \text{ m/s}$ PROEF 1202^a (-2,52) [2]

PROEVEN MET SCHEPEN

DICHTHEIDSVERTICALEN KOLKWAND MET AFDICHTENDE REGELSCHUIF
 VERGELIJKING 12 m EN 24 m BREDE SLUISKOLK
 GELIJKE STROOMSNELHEID BOVEN REGELSCHUIF

$\Delta p = 20 \text{ kg/m}^3$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1175

FIG 75

Proef- no.	kolk- wand- type	dicht- heids- ver- schil ($\Delta\rho$)	waterstand in kolk bij open wand- schuif	stand niveau- schuif	Streefwaarde terugwin- niveau	Theoretisch gewenst terugwin- niveau	Theoretisch optredend terugwin- niveau	Zoutverlies	Zoetverlies	type schepen (zie fig. 10 en 11)
-	-	kg/m ³	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	1-model	1-model	-
103b	I	20	0,00	-0,75	-2,50	-2,54	-2,61	2	22	A
106	I	20	0,00	-0,75	-2,50	-2,38	-2,66	7	72	-
108	I	20	0,00	-0,20	-2,50	-2,40	-2,46	2	65	-
109a	I	20	0,00	-1,50	-2,50	-2,34	-2,55	6	69	-
109b	I	20	0,00	-1,50	-2,50	-2,36	-2,58	6	69	-
109c	I	20	0,00	-1,50	-2,50	-2,46	-2,72	7	73	-
110b	I	20	0,00	-0,20	-2,50	-2,55	-2,55	0	20	A
111b	I	20	0,00	-1,50	-2,50	-2,58	-2,80	6	26	A
112	I	20	0,00	-0,50	-2,50	-2,38	-2,52	4	69	-
113	I	20	-0,20	-0,20	-2,50	-2,37	-2,45	2	67	-
114	I	20	-0,60	-0,20	-2,50	-2,37	-3,10	19	84	-
115	I	20	-0,40	-0,20	-2,50	-2,37	-2,66	8	72	-
116	I	20	0,00	-0,75	-2,50	-2,84	-3,06	6	70	B
117	I	20	0,00	-0,75	-2,50	-2,83	-3,01	5	69	B
118	I	20	0,00	-0,75	-2,50	-2,61	-2,77	4	68	C
119	I	20	0,00	-0,75	-2,50	-2,68	-2,79	3	68	C
126	I	20	0,00	-1,00	-2,50	-2,33	-2,62	8	71	-
127	I	20	0,00	-1,25	-2,50	-2,36	-2,64	8	72	-
129a	I	20	0,00	-1,40	-2,50	-2,32	-2,62	8	70	-
129b	I	20	0,00	-1,40	-2,50	-2,34	-2,68	9	70	-
150	I	20	0,00	-0,75	-2,50	-2,53	-2,60	2	70*	-
151	I	20	0,00	-1,50	-2,50	-2,50	-2,60	2	69*	-

I = Vormgeving kolkwand met niveauschuif

II = Vormgeving kolkwand met afdichtende regelschuif

* eenzijdig uitwisselen

PROEFGEGEVENS

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1176

TAB. I

Proef no.	kolkwand-type	dichtheidsverschil ($\Delta\rho$)	waterstand bij beginschuifbeweging	Eindstand afdichtende regelschuif	Streefwaarde terugwinniveau	Theoretisch gewenst terugwinniveau	Theoretisch optredend terugwinniveau	Schuif-snelheid	Grensvlak-snelheid	Zoutverlies	Zoetverlies	Type schepen (zie fig.10)
-	-	kg/m ³	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	m/s proto	m/s proto	l-model	l-model	-
INVLOED SCHUIFSTAND												
200A	II	20	+0,03	-0,70	-2,50	-2,39	-2,42	0,011	0,011	1	56	-
200B	II	20	+0,03	-0,69	-2,50	-2,44	-2,48	0,011	0,011	1	58	-
201C	II	20	+0,01	-0,99	-2,50	-2,46	-2,49	0,011	0,010	1	58	-
202	II	20	+0,01	-1,50	-2,50	-2,47	-2,54	0,009	0,011	2	59	-
203	II	20	0,00 ^x	-0,70 ^x	-2,50	-2,36	-2,52	0,010 ^x	0,010 ^x	1	10	A
204A	II	20	+0,06	-1,00	-2,50	-2,35	-2,56	0,010	0,010	2	11	A
204B	II	20	+0,02	-1,00	-2,50	-2,41	-2,56	0,011	0,013	2	11	A
205	II	20	0,00	-1,49	-2,50	-2,44	-2,57	0,010	0,011	2	11	A
INVLOED TERUGWINNIVEAU												
210	II	20	+0,01	-1,00	-6,25	-5,95	-6,02	0,010	0,011	2	146	-
211	II	20	0,00 ^x	-1,00 ^x	-4,50	-4,48	-4,54	0,010 ^x	0,010 ^x	1	109	-
212	II	20	+0,01	-1,00	-3,50	-3,49	-3,53	0,010	0,011	1	84	-
213	II	20	-0,03	-1,00	-3,00	-2,98	-3,01	0,010	0,011	1	71	-
214	II	20	+0,01	-1,00	-2,75	-2,71	-2,74	0,009	0,010	1	65	-
215B	II	20	0,00	-1,00	-6,25	-6,23	-6,27	0,011	0,010	1	103	A
216	II	20	0,00	-1,00	-4,50	-4,48	-4,50	0,010	0,010	0	59	A
217	II	20	-0,02	-0,99	-3,50	-3,48	-3,51	0,010	0,011	1	34	A
218	II	20	+0,03	-0,99	-3,00	-2,99	-3,04	0,010	0,010	1	23	A
220	II	20	+0,02	-1,00	-1,50	-1,49	-1,61	0,010	0,009	3	37	-
221	II	20	+0,02	-1,00	-1,00	-0,98	-1,19	0,011	0,009	5	27	-
222A	II	20	+0,01	-1,00	-2,00	-1,97	-2,03	0,010	0,009	1	47	-
222B	II	20	-0,04	-1,00	-2,00	-1,98	-2,01	0,011	0,010	1	46	-
223	II	20	0,00	-1,00	-1,50	-1,50	-2,25	0,012	0,010	3	9	A
INVLOED DEBIETPROGRAMMERING												
230B	II	20	+0,01	-1,00	-2,50	-2,48	-2,52	0,007	0,005 0,010	1	59	-
231	II	20	-0,01	-1,00	-2,50	-2,42	-2,45	0,006	0,005 0,010	0	10	A
232	II	20	0,00	-1,00	-2,50	-2,47	-2,48	0,006	0,005 0,010	0	58	-
233	II	20	-0,01	-1,00	-2,50	-2,45	-2,50	0,007	0,005 0,010	0	10	A
234	II	20	0,00	-1,00	-2,50	-2,48	-2,53	0,011	0,005 0,010	1	59	-
INVLOED SCHUIFSNELHEID												
235B	II	20	+0,01	-1,00	-2,50	-2,49	-2,54	0,021	0,010	1	59	-
236	II	20	0,00	-1,00	-2,50	-2,49	-2,52	0,029	0,010	1	59	-
237	II	20	0,00 ^x	-1,00	-2,50	-2,45	-2,56	0,020 ^x	0,010 ^x	2	10	A
238	II	20	+0,01	-1,00	-2,50	-2,50	-2,56	0,032	0,010	2	11	A

I = Kolkwand met niveauschuif
 II = Kolkwand met afdichtende regelschuif
^xStreefwaarde - waarde niet geregistreerd

PROEFGEGEVENS

A4

Proef no.	kolkwand-type	dichtheidsverschil ($\Delta\rho$)	waterstand bij beginschuifbeweging	Eindstand afdichtende regelschuif	Streefwaarde terugwinniveau	Theoretisch gewenst terugwinniveau	Theoretisch optredend terugwinniveau	Schuif-snelheid	Grensvlak-snelheid	Zoutverlies	Zoetverlies	Type schepen (zie fig. 10)
-	-	kg/m ³	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	m t.o.v. NAP	m/s proto	m/s proto	l-model	l-model	-
INVLOED DICHTHEIDSVerschil												
240	II	12	-0,02	-0,83	-2,50	-2,50	-2,58	0,010	0,013	2	60	-
241	II	12	+0,01	-1,50	-2,50	-2,49	-2,61	0,013	0,010	3	61	-
242	II	12	+0,04	-0,70	-2,50	-2,45	-2,53	0,013	0,009	1	11	A
243	II	12	-0,05	-1,50	-2,50	-2,47	-2,61	0,012	0,010	3	13	A
244	II	16	+0,03	-0,70	-2,50	-2,47	-2,54	0,012	0,010	2	59	-
245	II	16	+0,01	-1,49	-2,50	-2,48	-2,59	0,013	0,009	3	61	-
246	II	16	0,00	-0,70	-2,50	-2,43	-2,52	0,010	0,010	1	11	A
247	II	16	+0,01	-1,48	-2,50	-2,36	-2,54	0,011	0,010	2	11	A
INVLOED VERHOOGD OMARMEND ZOET												
250	II	20	+0,52	-0,70	-2,50	-2,47	-2,54	0,009	0,010	1	72	-
251B	II	20	+0,55*	-1,50	-2,50	-2,49	-2,64	0,010*	0,010*	4	75	-
252	II	20	+0,56	-0,70	-1,95	-1,93	-2,02	0,009	0,009	2	60	-
253	II	20	+0,55	-1,50	-1,95	-1,93	-2,09	0,009	0,010	4	62	-
254B	II	20	+0,55	-0,70	-2,50	-2,48	-2,58	0,011	0,010	2	25	A
255B	II	20	+0,55	-1,50	-2,50	-2,49	-2,52	0,010	0,010	1	23	A
256C	II	20	+0,55	-0,70	-1,95	-1,95	-2,06	0,011	0,010	3	12	A
257	II	20	+0,55	-1,50	-1,95	-1,78	-1,98	0,010	0,010	2	11	A
258	II	20	+0,55	-1,00	-1,95	-1,93	-2,06	0,010	0,010	3	61	-
259	II	20	+0,55	-1,00	-2,50	-2,50	-2,56	0,011	0,010	1	73	-
INVLOED VERLAAGD OMARMEND ZOET												
260B	II	20	-0,29	-1,00	-3,10	-3,10	-3,12	0,010	0,010	1	60	-
261B	II	20	-0,30	-1,50	-3,10	-3,10	-3,13	0,009	0,010	1	60	-
262B	II	20	-0,32	-1,00	-3,10	-3,08	-3,19	0,011	0,010	2	14	A
263B	II	20	-0,27	-1,50	-3,10	-3,08	-3,12	0,010	0,010	1	12	A
EENZIJDIG UITWISSELEN												
300	II	20	-0,01	-0,70	-2,50	-2,48	-2,64	0,010	0,010	4	62	-
301B	II	20	0,00	-1,00	-2,50	-2,49	-2,61	0,008	0,010	3	61	-
302	II	20	+0,01	-1,50	-2,50	-2,49	-2,62	0,009	0,010	3	62	-
303	II	20	0,00	-0,70	-2,50	-2,43	-2,80	0,010	0,010	8	18	A
304	II	20	+0,01	-1,00	-2,50	-2,44	-2,85	0,010	0,010	9	18	A
305	II	20	0,00	-1,50	-2,50	-2,42	-2,80	0,010	0,010	7	17	A
306	II	20	+0,01	-0,70	-2,50	-2,50	-2,55	0,006	0,005	1	60	-
307B	II	20	0,00	-1,00	-2,50	-2,50	-2,52	0,005	0,005	1	59	-
308	II	20	0,00	-1,50	-2,50	-2,50	-2,57	0,006	0,005	2	60	-
309	II	20	-0,08	-0,70	-2,50	-2,50	-2,67	0,005	0,005	4	14	A
310	II	20	+0,01	-1,00	-2,50	-2,45	-2,67	0,005	0,005	4	14	A
311	II	20	+0,02	-1,50	-2,50	-2,50	-2,69	0,005	0,005	5	14	A
312	II	20	0,00	-1,00	-6,25	-6,22	-6,28	0,005	0,005	1	152	-
314	II	20	+0,01	-1,00	-6,25	-6,24	-6,27	0,005	0,006	1	103	A
315	II	20	0,00	-1,00	-1,50	-1,50	-1,61	0,005	0,005	3	37	-
316	II	20	+0,01	-1,00	-1,50	-1,51	-2,58	0,006	0,005	6	12	A

I = Kolkwand met niveauschuif

II = Kolkwand met afdichtende regelschuif

*Streefwaarde - waarde niet geregistreerd

PROEFGEGEVENS

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1431-1178

TAB. III

p.o. box 177

delft

the netherlands