

nota

DE ZOUT/ZOET-PROBLEMATIEK VAN DE
SLUIZEN BIJ HANSWEERT NA VOLTOOIING
VAN DE OOSTERSCHELDE-WERKEN.

projektkode: V7712004

titel:

auteur(s): dr. J. Dronkers

datum: juli 1979

bijlagen:

samenvatting:

Inhoudsopgave:

1. Inleiding
2. Beschrijving wiskundig model
3. Neerslagoverschot en kustwaterzoutgehalte
4. Berekeningen en resultaten
5. Samenvatting en conclusies

Referenties

Appendix

Lijst van bijlagen

De verzoeting van de Oosterschelde
welke optreedt als gevolg van de
'indringing van Westerschelde-
water via het kanaal door Zuid-
Beveland, wordt ~~bestaan~~ ~~aangegeven~~
De bestrijding van deze manieren
en de berekening hiertoe
en de manieren van bestrijding
tegen het zoute water worden
behandeld.

Dronkers, J.
Dek, W.J.
Ebbens, E.H.

o Projectgroep 207 0220
ZOKABE:

De zout/zoet-problematiek van de sluisen bij Hansweert na voltooiing van de Oosterschelde - werken / o J. Dronkers v;
[Ministerie van Verkeer en Waterstaat], Rijkswaterstaat, Deltadienst, [Hoofdafdeling Waterloopkunde]^{vv} - [Den Haag] : RWS, DD, 1979. - 21 bl. : bijl., fig., graf., tab. ; 30 cm

> Nota DDWT - 79.023. - Projectkode V7712004. -
Ref. : p. 20

v, W.J. Dek, E.H. Ebbens, D.C. van Maldegem, in de Hoop
vv; in opdracht van [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat], Directie Zeeland (RWS, ZL)

C3170

onderwerppl. : 610 Waterkwaliteit

udc : faacet : onderzoek . 001.5
geogr. : Oosterschelde (202.244.123.2) s,
Zeeland (492.
Westerschelde (202.244.123.1) s

hoofdgetallen : zoetwater - zoutwater grensvlak 556.332.72
zoutgehalte v/h water 556.114.5 s
Deltawerken 627.5 (492.91) s,
Sluisen 626.4 s,
Kustwaterbouwkunde 627 (210.5)
Verzoeting zoet water 627.221.21.
Getijden 551.466.7 s,
Wiskundige modellen 167.7.001.573
Sedimentatie v. Zouttransport 553.63
& Dispersie 532.696.22 s

1. Inleiding

In deze nota wordt beschreven welke gevolgen de voorgenomen verbetering van de vaarweg via het Kanaal door Zuid-Beveland heeft voor het zoutgehalte in de Oosterschelde. De verbetering van de vaarweg die in dit kader van belang is, bestaat uit:

1. de verbreding en verdieping van het kanaal,
2. de constructie van een nieuw sluizencomplex bij Hansweert,
3. de verwijdering van de sluizen bij Wemeldinge.

Als een gevolg van dit laatste gaat het kanaal door Zuid-Beveland deel uitmaken van het getijdegebied van de Oosterschelde na voltooiing van de stormvloedkering en vindt door de sluizen bij Hansweert uitwisseling plaats van Oosterscheldewater en Westerscheldewater. Aangezien het zoutgehalte op de Westerschelde nabij Hansweert over het algemeen lager is dan het zoutgehalte op de Oosterschelde, zal de uitwisseling via de sluizen een verzoetend effect hebben op de Oosterschelde. Met name is bekeken hoe groot de verzoetende invloed is in de kom van de Oosterschelde en welk terugspoeldebiet door de sluis van Oosterschelde naar Westerschelde nodig is om deze verzoeting tegen te gaan.

Voor de bestudering van dit effect is een eenvoudig wiskundig model opgezet, waarin het transport van zout wordt opgesplitst in twee componenten, te weten:

- transport veroorzaakt door een netto, getijgemiddeld debiet,
- transport veroorzaakt door menging (dispersief transport).

Dit model is beschreven in par. 2.

Randvoorwaarden voor het model zijn enerzijds een kustwaterzoutgehalte en anderzijds een neerslag- of verdampingsoverschot welke in natuurlijke omstandigheden gemiddeld gedurende enkele maanden kunnen optreden. De keuze van deze randvoorwaarden is vrij arbitrair, maar wel bepalend voor de resultaten; dit wordt verder uiteengezet in par. 3.

De resultaten van de berekeningen worden besproken in par. 4 en in par. 5 volgen de conclusies.

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van directie Zeeland door de projectgroep "ZOKABE", bestaande uit:

dr. J. Dronkers (voorzitter)	DDWT
ing. W.J. Dek (secretaris)	DDMI
ir. E.H. Ebbens	WW Stud. Vlissingen
ing. D.C. van Maldegem	DDMI
ir. de Hoop	Zeeland

• 2. Beschrijving wiskundig model

Voor de berekening is een ééndimensionaal getijgemiddeld stationair model gebruikt. De wiskundige formulering is uiteengezet in de appendix; in het hierna volgende worden enkele fysische aspecten besproken.

Voor het probleem van de uitwisseling van Oosterscheldewater en Westerscheldewater door de sluis bij Hansweert is van belang het restdebiet en de longitudinale dispersie op het traject:

kustgebied - mond O.S. - Zeelandbrug - Wemeldinge - Kanaal door Z. Beveland - sluis Hansweert - voorhaven Hansweert - Terneuzen - mond W.S. - kustgebied (zie bijlage 1).

Het restdebiet hangt af van de gekozen randvoorwaarden (neerslagoverschot, terugspoeldebiet). De longitudinale dispersie is grotendeels een karakteristiek van het systeem: de dispersiecoëfficiënten hangen voornamelijk af van de topografie en de getijparameters en slechts in beperkte mate van de zoutverdeling.

Dispersiecoëfficiënten voor de Westerschelde zijn vrij nauwkeurig uit natuurmetingen van de zoutverdeling vastgesteld. Dispersiecoëfficiënten voor de Oosterschelde kunnen alleen langs modelmatige weg worden bepaald i.v.m. de veranderingen in topografie en getijparameters als gevolg van de Oosterscheldewerken. Uitgegaan is van een effectieve doorstroomopening in de mond van de Oosterschelde van 15000m^2 . In deze nota worden waarden gehanteerd die in een voorgaande studie [1] zijn gevonden en goed overeenstemmen met resultaten van recente proeven in het getijmodel van de Oosterschelde in het laboratorium de Voorst van het W.L. [2]. Gezien de vrij grote onzekerheid die kleeft aan de modelproeven en modelberekeningen is hier gerekend met bovengrens- en ondergrenswaarden voor de dispersiecoëfficiënten, hetgeen resulteert in bovengrens- en ondergrenswaarden voor het zoutgehalte.

Een probleem apart vormt de longitudinale dispersie in het Kanaal door Zuid-Beveland en in de voorhaven van Hansweert. Omdat er weinig ervaring bestaat met de zoutindringing in kanalen onder invloed van het getij is gerekend met sterk uiteenlopende schattingen voor de dispersiecoëfficiënt, gebaseerd op

- de empirische waarde voor homogene getijstroming in kanalen ,
 $D \approx 5 \text{ m}^2/\text{s}$,

- de waarde voor gelaagde, niet oscillerende stroming, volgens metingen in het Kanaal van Gent naar Terneuzen [4], $D \approx 300 \text{ m}^2/\text{s}$.

De berekening van de zoutverdeling op het Kanaal door Zuid-Beveland met de kleinste dispersiecoëfficiënt levert een zo grote dichtheidsgradient, dat de veronderstelling van homogene stroming niet kan opgaan.

De ondergrens voor de dispersiecoëfficiënt is daarom verhoogd tot $20 \text{ m}^2/\text{s}$ en in één geval zelfs tot $60 \text{ m}^2/\text{s}$. De berekening met de grootste dispersiecoëfficiënt levert een zo kleine dichtheidsgradient dat de veronderstelling van gelaagde stroming gefalsificeerd wordt. De bovengrens voor de dispersiecoëfficiënt is daarom verlaagd tot $200 \text{ m}^2/\text{s}$, en in één geval zelfs tot $100 \text{ m}^2/\text{s}$. De verschillende combinaties van dispersiecoëfficiënten waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd zijn aangegeven in tabel I.

Tabel I

sektie	lengte 10^3 m	dwarsdoor- snede 10^3 m^2	dispersiecoëfficiënten							
			Ia	Ib	IIa	IIb	IIC	IIIA	IIIB	
			m^2/s							
mond O.S.-'s Gravenhoek	7	80	70			100			150	
's Gravenhoek-Zeelandbrug	10	60	70			100			150	
Zeelandburg-Sas van Goes	4	37	40			65			100	
Sas van Goes-Wemeldinge	6	37	40			65			100	
Kanaal door Z. Beveland	8	0,92	20	100	20	80	200	60	200	
Wemeldinge-Yerseke	8	33	40			60			90	
Yerseke-Oesterdam	8	21	40			60			90	
mond W.S.-Terneuzen	32	72,5				300				
Terneuzen-Hansweert	20	44				200				
Voorhaven Hansweert	1,75	2,25	20	100	20	80	200	60	200	

Voor de uitwisseling van Oosterscheldewater en Westerscheldewater in de sluis bij Hansweert is een empirische formule gebruikt (zie appendix) die is opgesteld voor de sluizen bij IJmuiden [5]. Voor de Volkeraksluizen zonder luchtbellenscherm geeft deze formule een schatting van het uitwisselingspercentage dat 10-30% te hoog ligt [6]. Waarschijnlijk wordt de uitwisseling van Oosterscheldewater en Westerscheldewater door de sluis bij Hansweert dus ook in lichte mate overschat. Voor de grootte van de uitwisseling is met name van belang het gemiddelde aantal schuttingen per dag en de tijdsduur dat de sluisdeuren geopend zijn voor het uit- en invaren van de schepen. Hoe kleiner het aantal schuttingen en hoe korter de tijdsduur, des te kleiner de uitwisseling. Bij de berekeningen is uitgegaan van gemiddeld 13 schuttingen per kolk en per dag [7], en van een gemiddelde uit- en invaartijd van 25 minuten.

3. Neerslagoverschot en kustwatergehalte

Het neerslagoverschot is een belangrijke parameter voor de uitwisseling van Oosterscheldewater en Westerscheldewater door de sluis bij Hansweert. Situaties met een grote neerslag zijn meer relevant dan situaties met een kleine neerslag, om drie redenen:

1. Grote neerslag, en de daardoor veroorzaakte toename van de Schelde-afvoer, veroorzaakt een sterkere daling van het zoutgehalte op de Westerschelde dan op de Oosterschelde; het verschil in zoutgehalte tussen Oosterschelde en Westerschelde neemt toe.
2. Het dichtheidsverschil tussen Oosterscheldewater en Westerscheldewater neemt toe, dus wordt het uitwisselingspercentage van de sluis groter.
3. Het zoutgehalte in de Oosterschelde is laag t.o.v. de streefwaarde (15,5 g/l Cl^-) [8]. Het systeem kan daarom niet goed een extra zoetlast verdragen.

Het lijkt niet erg zinvol om uit te gaan van een situatie met de grootste theoretisch denkbare neerslag (gesteld dat men deze zou kennen). Er zijn daarom meerdere berekeningen gemaakt voor situaties met een verschillend neerslagoverschot; de overschrijdingsfrequentie van dit neerslagoverschot is voor elke berekening aangegeven (zie tabel II).

Het kustwaterzoutgehalte heeft slechts een geringe invloed op de uitwisseling van Oosterscheldewater en Westerscheldewater door de sluis bij Hansweert. Deze parameter is wel van groot belang als men de resultaten van de berekeningen wil vergelijken met de gestelde norm voor het zoutgehalte in de Oosterschelde. Bij een laag kustwaterzoutgehalte daalt het zoutgehalte in de kom van de Oosterschelde; een extra verzoeting vanuit het Kanaal door Zuid-Beveland is dan zeer ongewenst.

Vanwege de vrij korte reeks beschikbare waarnemingen van het kustwaterzoutgehalte (vanaf 1972) is het niet goed mogelijk een frequentieverdeling te bepalen en een correlatie te leggen met het neerslagoverschot.

Daarom is besloten om berekeningen uit te voeren voor de twee meest ongunstige situaties (grote neerslag) uit de periode 1972-1978; deze zijn aangegeven in tabel II, die betrekking heeft op drie-maandelijks gemiddelde waarden.

tabel II

periode	kustwater- zoutgehalte (mond O.S.)	neerslag- overschot	overschr. frekw. neerslag	Schelde- afvoer	Kanaal Gent- Terneuzen + polders
	g/l Cl ⁻	mm/maand	per jaar	m ³ /s	m ³ /s
okt. '74- dec. '74	17,4	105	10%	300	40
nov. '77- jan. '78	17,2	74	33%	125	20
gemiddeld kustwaterzoutgehalte 1972-1978 = 17,5 g/l Cl ⁻ hoogste kustwaterzoutgehalte (3-maand gem.) = 18,6 g/l Cl ⁻ laagste kustwaterzoutgehalte (3-maand gem.) = 16,8 g/l Cl ⁻					

In de berekeningen is een extra afvoer op de Westerschelde opgenomen, groot 50m³/s, afkomstig van het Zoommeer (zie tabel III).

4. Invoergegevens en resultaten

De externe factoren die het zoutgehalte in het systeem Oosterschelde-Westerschelde bepalen zijn:

1. Het kustwaterzoutgehalte.

Aangenomen is dat in de mond van de Oosterschelde en in de mond van de Westerschelde dezelfde waarde geldt.

Voor de perioden okt.'74-dec.'74 en nov.'77-jan.'78 is deze waarde aangegeven in tabel II.

2. De zoetwatertoevoer.

Deze bestaat uit:

- directe neerslag en polderlozingen, die worden berekend uit het neerslagoverschot aangegeven in tabel II. Samen worden zij als een serie puntlozingen in de verschillende knooppunten van het netwerk (zie bijlage 1) aangevoerd,
- het zoetwaterverlies van de Krammersluizen, dat geschat is op $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (twee duwvaartsluizen op volle capaciteit en één op halve capaciteit, bij optimaal beheer zonder verfijnd besturings-systeem [9], of twee duwvaartsluizen bij niet-optimaal beheer),
- de afvoer van de Schelde (zie tabel II),
- de afvoer van het Kanaal van Gent naar Terneuzen,
- de afwatering van het Zoommeer via het lozingskanaal te Bath en het zoetwaterverlies van de Kreekraksluizen, welke samen geschat zijn op $50 \text{ m}^3/\text{s}$ [10].

Aangenomen is dat de invloed van de Oesterdamsluis verwaarloosbaar klein is [9].

De totale externe wateraanvoer in de verschillende knooppunten voor de beide bestudeerde perioden is aangegeven in tabel III.

rijkswaterstaat

behoort bij:

nota

nr. DDWT-79.023

bladnr: 8

- Tabel III.

knooppunt	externe zoetwateraanvoer (m ³ /s)	
	okt. '74-dec. '74	nov. '77-jan. '78
's-Gravenhoek	4,8	3,7
Zeelandbrug	30,7	26,8
Sas van Goes	4,1	3,0
Wemeldinge	3,4	2,6
Yerseke	3,7	2,6
Oesterdam	0,9	0,7
Terneuzen	40	20
Hansweert	350	175

3. Het terugspoeldebiet van Oosterschelde naar Westerschelde door de sluis bij Hansweert. De berekeningen zijn uitgevoerd voor terugspoeldebieten variërend van 0 (d.w.z. géén terugspoeldebiet) tot 100 m³/s.

De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in bijlage 2 voor de periode okt. '74-dec. '74 en in bijlage 3 voor de periode nov. '77-jan. '78. In alle knooppunten van het netwerk van bijlage 1 is het zoutgehalte berekend; in de bijlage wordt echter alleen het zoutgehalte bij de Oesterdam getoond. Ten opzichte van de streefwaarden voor het zoutgehalte is dit n.l. het meest kritieke punt in de Oosterschelde. Bij Yerseke b.v. ligt het zoutgehalte 50-100 mg/l Cl⁻ hoger onder de beschouwde omstandigheden. Verder is de verzoeting t.g.v. de uitwisseling van Oosterscheldewater en Westerscheldewater door de sluis bij Hansweert in de gehele Kom van de Oosterschelde vrijwel even groot.

Er is ook een berekening gemaakt van de zoutverdeling in de Oosterschelde bij een afgesloten kanaal van Zuid-Beveland.

De invloed van de uitwisseling van Oosterscheldewater en Westerscheldewater door de sluis bij Hansweert volgt uit een vergelijking van de zoutgehalten in de situatie met afgesloten kanaal enerzijds en de situatie met uitwisseling door de sluis anderzijds. Neutralisatie van de zoetlast veroorzaakt door de uitwisseling, betekent een zodanige keuze van het terugspoeldebiet, dat de zoutgehalten in beide situaties gelijk zijn. Het terugspoeldebiet nodig voor neutralisatie kan worden afgelezen uit de

rijkswaterstaat

behoort bij: nota

nr. DDWT-79.023

bladnr: 9

bijlagen 2 en 3, voor de twee betreffende perioden. Het berekende terugspoeldebiet hangt af van de gekozen dispersiecoëfficiënten (series Ia t/m IIIb, zie tabel I). Uit de bijlagen 2 en 3 kan een boven- en een ondergrens voor het terugspoeldebiet worden afgeleid. De resultaten zijn ten overvloede samengevat in tabel IV.

Tabel IV

periode	situatie	zoutgehalte Kom O.S.		verzoeting Kom O.S.		terugspoel debiet	
		g/l Cl^-		g/l Cl^-		m^3/s	
		min	max	min	max	min	max
okt.'74 - dec.'74	geen uitwisseling O.S. - W.S.	13.4	15.5	0	0	0	0
	uitwisseling, geen neutralisatie	13.0	15.3	0.1	0.4	0	0
	uitwisseling, neutralisatie	13.4	15.5	0	0	4	30
nov.'77 - jan.'78	geen uitwisseling O.S. - W.S.	14	15.7	0	0	0	0
	uitwisseling, geen neutralisatie	13.8	15.6	0.05	0.2	0	0
	uitwisseling neutralisatie	14	15.7	0	0	3	25

• 5. Samenvatting en conclusies

De uitwisseling van Oosterscheldewater en Westerscheldewater door de sluis bij Hansweert doet het zoutgehalte op de Oosterschelde dalen, als er geen water van de Oosterschelde naar de Westerschelde wordt teruggespoeld. Deze daling is het grootst in perioden van grote neerslag. De invloed van de uitwisseling door de sluis op het zoutgehalte in de Kom van de Oosterschelde is bestudeerd in twee situaties, die overeenkomen met de perioden met de grootste neerslag opgetreden in de jaren 1972-1978. Voor verschillende terugspoeldebieten zijn berekeningen uitgevoerd. De resultaten worden getoond in de bijlagen 2 en 3, en samengevat in tabel IV.

Hieruit kan het volgende worden geconcludeerd:

1. Voor de beschouwde situaties bedraagt de daling van het chloridegehalte op de Oosterschelde t.g.v. de uitwisseling door de sluis bij Hansweert minimaal 50 mg/l en maximaal 400 mg/l.
2. Deze daling is gering vergeleken met de marge van 2 g/l waarbinnen het zoutgehalte in de toekomstige situatie op de Oosterschelde kan worden voorspeld.
3. Het terugspoelen van Oosterscheldewater naar de Westerschelde door de sluis verhoogt het zoutgehalte zowel op de Oosterschelde als op de Westerschelde; bij hoge terugspoeldebieten wordt op de Oosterschelde een zoutgehalte bereikt dat hoger ligt dan in het geval van een afgesloten kanaal door Zuid-Beveland (zie punt 7).
4. Bij een klein terugspoeldebiet ($< 5 \text{ m}^3/\text{s}$) heeft een bepaalde verhoging van het terugspoeldebiet meer effect dan bij een groot terugspoeldebiet ($> 10 \text{ m}^3/\text{s}$).
5. Volledige neutralisatie van het effect van de uitwisseling vereist in de beschouwde gevallen een terugspoeldebiet van minimaal $3 \text{ m}^3/\text{s}$ en maximaal $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Bij een terugspoeldebiet van $10 \text{ m}^3/\text{s}$ is de verzoetende invloed hooguit $0,2 \text{ g/l Cl}^-$.

rijkswaterstaat

behoort bij: nota nr. DDWT-79.023
bladnr: 11

- 6. Door een goed beheer van de sluis kan de uitwisseling in belangrijke mate beperkt worden. Men moet er naar streven om het aantal schutcycli per dag zoveel mogelijk te beperken, te schutten met volle kolken en de sluisdeuren niet langer geopend te laten dan strikt noodzakelijk is.

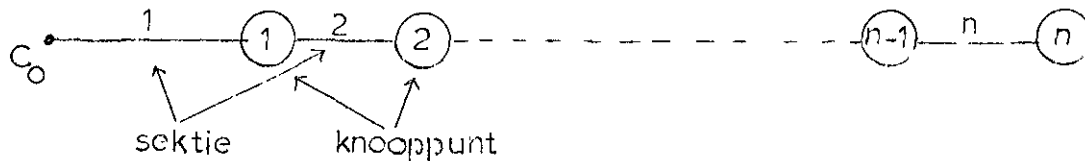
7. Indien voorzieningen worden getroffen voor een groot terugspoeldebiet (orde $100 \text{ m}^3/\text{s}$) kan een verhoging van het zoutgehalte in de Kom van de Oosterschelde worden gerealiseerd, die vnl. bij lage zoutgehalten ($< 14 \text{ g/l Cl}^-$) aanzienlijk is (orde $0,5 - 1 \text{ g/l Cl}^-$).

Appendix

REKENMODEL UITWISSELING O.S. - W.S. DOOR KANAAL Z-BEVELAND

Zowel de O.S. als de W.S. worden ééndimensionaal geschematiseerd als een keten van sekties, waarbinnen de dwarsdoorsnede A , de dispersiecoëfficiënt D en het restdebiet Q bepaalde konstante waarden hebben. De twee ketens staa in verbinding via het sluizencomplex bij Hansweert (zie bijlage 1).

1. Diffusie in een keten



$C_i(x)$ = concentratieverloop in sektie i

l_i = lengte sektie i

A_i = dwarsdoorsnede sektie i

D_i = ééndimensionale getijgemiddelde dispersiecoëfficiënt sektie i

Q_i = restdebiet sektie i

K_i = rest-zouttransport sektie i

C_0 = zoutgehalterandvoorwaarde (zeerand)

De ééndimensionale getijgemiddelde stationaire diffusievergelijking voor sektie i luidt:

$$Q_i c_i - D_i A_i \frac{dc_i}{dx} = K_i \quad (1)$$

Stel $R_i = Q_i l_i / D_i A_i$, (2)

$$S_i = K_i / Q_i \quad (3)$$

Dan wordt (1):

$$R_i (c_i - S_i) - l_i \frac{dc_i}{dx} = 0 \quad (4)$$

De oplossing luidt

$$c_i(x) = S_i + (C_{i-1} - S_i) e^{R_i x / l_i} \quad (5)$$

waar $C_i = c_i(l_i)$, $C_{i-1} = c_i(0)$.

C_{i-1} moet worden uitgedrukt als functie van de randvoorwaarde C_0 .

Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de recurrentierelatie tussen C_i en C_{i-1} :

$$C_i = (1 - \alpha_i) S_i + \alpha_i C_{i-1} \quad (6)$$

met $\alpha_i = \exp(R_i l_i)$. (7)

Door herhaalde toepassing van (6) vindt men

$$C_i = (1 - \alpha_i) S_i + \alpha_i (1 - \alpha_{i-1}) S_{i-1} + \alpha_i \alpha_{i-1} C_{i-2}$$

en tenslotte

$$C_n = (1 - \alpha_n) S_n + \sum_{i=1}^{n-1} (1 - \alpha_i) S_i \prod_{j=i+1}^n \alpha_j + C_0 \prod_{j=1}^n \alpha_j \quad (8)$$

Wanneer alleen aan het einde van de keten een netto-aanvoer of afvoer van zout plaatsvindt (dus geen extra netto aan- en afvoer van zout in de andere knooppunten) dan is het resulterende zouttransport K in de keten constant:

$$K_1 = K_2 = \dots = K_n \equiv K$$

Het resulterende zouttransport kan beschouwd worden als het verschil van een netto-aanvoer K_0 en een netto-afvoer $Q_0 C_n$:

$$K = Q_0 C_n - K_0 \quad (9)$$

Substitutie in (8) geeft:

$$C_n = (Q_0 C_n - K_0) \left(\frac{1 - \alpha_n}{Q_n} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1 - \alpha_i}{Q_i} \prod_{j=i+1}^n \alpha_j \right) + C_0 \prod_{j=1}^n \alpha_j$$

Hieruit kan C_n worden berekend:

$$C_n = \frac{\beta_n C_0 - \gamma_n K_0}{1 - \gamma_n Q_0} \quad (10)$$

met de notaties

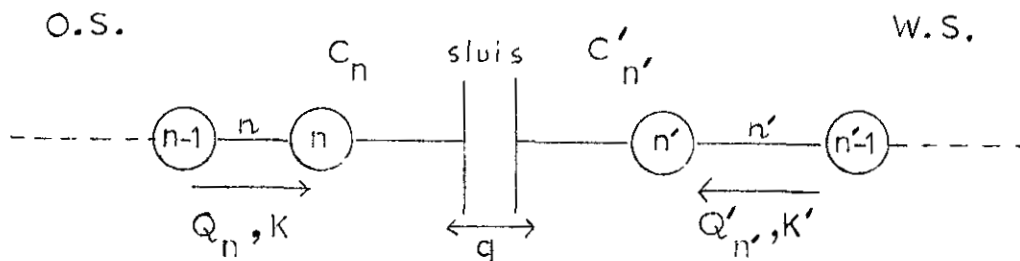
$$\beta_n = \prod_{j=1}^n \alpha_j \quad (11)$$

$$\gamma_n = \frac{1 - \alpha_n}{Q_n} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1 - \alpha_i}{Q_i} \prod_{j=i+1}^n \alpha_j \quad (12)$$

2. Het systeem O.S.-kanaal Z-Beveland-W.S.

Dit systeem wordt gevormd door een O.S.-keten en een W.S.-keten, die verbonden zijn door het sluisencomplex bij Hansweert.

De W.S.-keten wordt in de notatie onderscheiden van de O.S.-keten door alle grootheden van accenten te voorzien.



Door de sluis vindt uitwisseling plaats t.g.v.:

1. een uitwisselingsdebiet q
2. een restdebiet $Q_n = -Q'_n$

Het resulterend zouttransport door de sluis $K = -K'$ is dan gegeven door

$$K = \left(q + \frac{Q_n + |Q_n|}{2} \right) C_n - \left(q + \frac{Q'_n + |Q'_n|}{2} \right) C'_n \quad (13)$$

Volgens de ontbinding (9) heeft men dus:

$$Q_0 = q + \frac{Q_n + |Q_n|}{2}, \quad Q'_0 = q + \frac{Q'_n + |Q'_n|}{2}, \quad (14)$$

$$K_0 = Q'_0 C'_n, \quad K'_0 = Q_0 C_n \quad (15)$$

De concentraties aan weerszijden van de sluis kunnen nu berekend worden uit de vergelijking (10), die zowel op de W.S.- als de O.S.-keten kan worden toegepast. Dit geeft het stelsel vergelijkingen.

$$(1 - \gamma_n Q_o) C_n + \gamma_n Q'_o C'_{n'} = \beta_n C_o \quad , \quad (16)$$

$$\gamma'_{n'} Q_o C_n + (1 - \gamma'_{n'} Q'_o) C'_{n'} = \beta'_{n'} C_o \quad , \quad (17)$$

waarvan de oplossing luidt:

$$C_n = \frac{(1 - \gamma'_{n'} Q'_o) \beta_n - \gamma_n Q'_o \beta'_{n'}}{1 - \gamma_n Q_o - \gamma'_{n'} Q'_o} C_o \quad , \quad (18)$$

$$C'_{n'} = \frac{-\gamma'_{n'} Q_o \beta_n + (1 - \gamma_n Q_o) \beta'_{n'}}{1 - \gamma_n Q_o - \gamma'_{n'} Q'_o} C_o \quad . \quad (19)$$

3. Uitwisseling in de schutkolk

De uitwisseling U die plaatsvindt gedurende de periode dat de schutkolk in verbinding staat met een kanaalpand, wordt voorgesteld door de semi-empirische formule [5]:

$$U = \tanh\left(\xi \frac{\tau}{4l} \sqrt{gh \frac{\Delta\rho}{\rho}}\right) \quad (20)$$

Hier is:

τ = tijd dat de sluisdeuren geopend zijn,

l = lengte van de kolk,

h = diepte van de kolk,

$\frac{\Delta\rho}{\rho}$ = relatief dichtheidsverschil tussen de kolk en het kanaal op het moment dat de sluisdeuren geopend worden,

ξ = empirische faktor, zodanig vast te stellen dat vgl. (20) voor overeenkomstige bestaande sluizen een goede benadering geeft.

Formule (20) volgt uit drie overwegingen:

1. Wanneer wordt verondersteld dat het verticale dichtheidsverschil in de kolk klein is t.o.v. het dichtheidsverschil met het kanaalpand, dan ontstaat na het openen van de sluisdeuren een tweelagen systeem. In het begin van het uitwisselingsproces is de dikte van beide lagen gelijk aan $\frac{1}{2}h$ en de snelheid waarmee het zoutere zowel als het zoetere front zich voortbeweegt gelijk aan

$$v = \frac{1}{2} \sqrt{gh \frac{\Delta\rho}{\rho}}$$

Bij het begin van het uitwisselingsproces, na een tijd t , is

$$U = vt / 2l$$

het gedeelte van de sluis kolk dat met water uit het kanaalpand wordt gevuld.

2. Het uitwisselingspercentage ligt tussen 0 en 100%
3. De formule (20) geeft met $\xi=1$ een vrij goede beschrijving van de uitwisselingspercentages die gemeten zijn in de sluizen bij IJmuiden [5] en in de Volkeraksluizen [6].

Ook in het vervolg zal worden verondersteld dat de gelaagdheid in de kolk klein is op het moment dat de sluisdeuren geopend worden. De concentratie in de kolk is dan bij benadering gegeven door de uitdrukking

$$C'_S = U C_n + (1 - U) C_S \quad . \quad (21)$$

Hier is C_n de concentratie in het andere kanaalpand en C_S de concentratie in de sluis aan het begin van de vorige schutting. De uitwisselingsfaktor U is gegeven door (20) met

$$\Delta \varrho = 1,4 |C_n - C_S| \quad .$$

Op dezelfde manier is

$$C_S = U' C'_n + (1 - U') C'_S \quad , \quad (22)$$

met U' gegeven door (20) en $\Delta \varrho' = 1,4 |C'_n - C'_S|$.

De totale uitwisseling gedurende een schutcyclus is gegeven door

$$V U (C_n - C_S) = V U' (C'_S - C'_n) \quad . \quad (23)$$

Volgens (21) en (22) kan deze hoeveelheid geschreven worden als

$$\frac{U U'}{U + U' - U U'} V (C_n - C'_n) \quad . \quad (24)$$

In het vervolg wordt verondersteld dat de uitwisselingsfaktor voor schutting

naar beide kanaalpanden gelijk is, $U = U'$.

Uit (24) volgt dan dat het uitwisselingsdebiet q gelijk is aan

(25)

$$q = q_{\max} \frac{U}{2 - U},$$

met $q_{\max} = (\text{aantal sluizen}) \times (\text{aantal schuttingen per dag}) \times (\text{kolk- volume}) / (\text{aantal seconden per dag})$.

De uitwisselingsfaktor U kan nu door iteratie berekend worden uit de formules (18), (19), (25) en (20) met daarin gesubstitueerd

$$\Delta \varphi = 1,4 |C_n - C_s| = 1,4 \frac{|C_n - C'_n|}{2 - U}. \quad (26)$$

Referenties

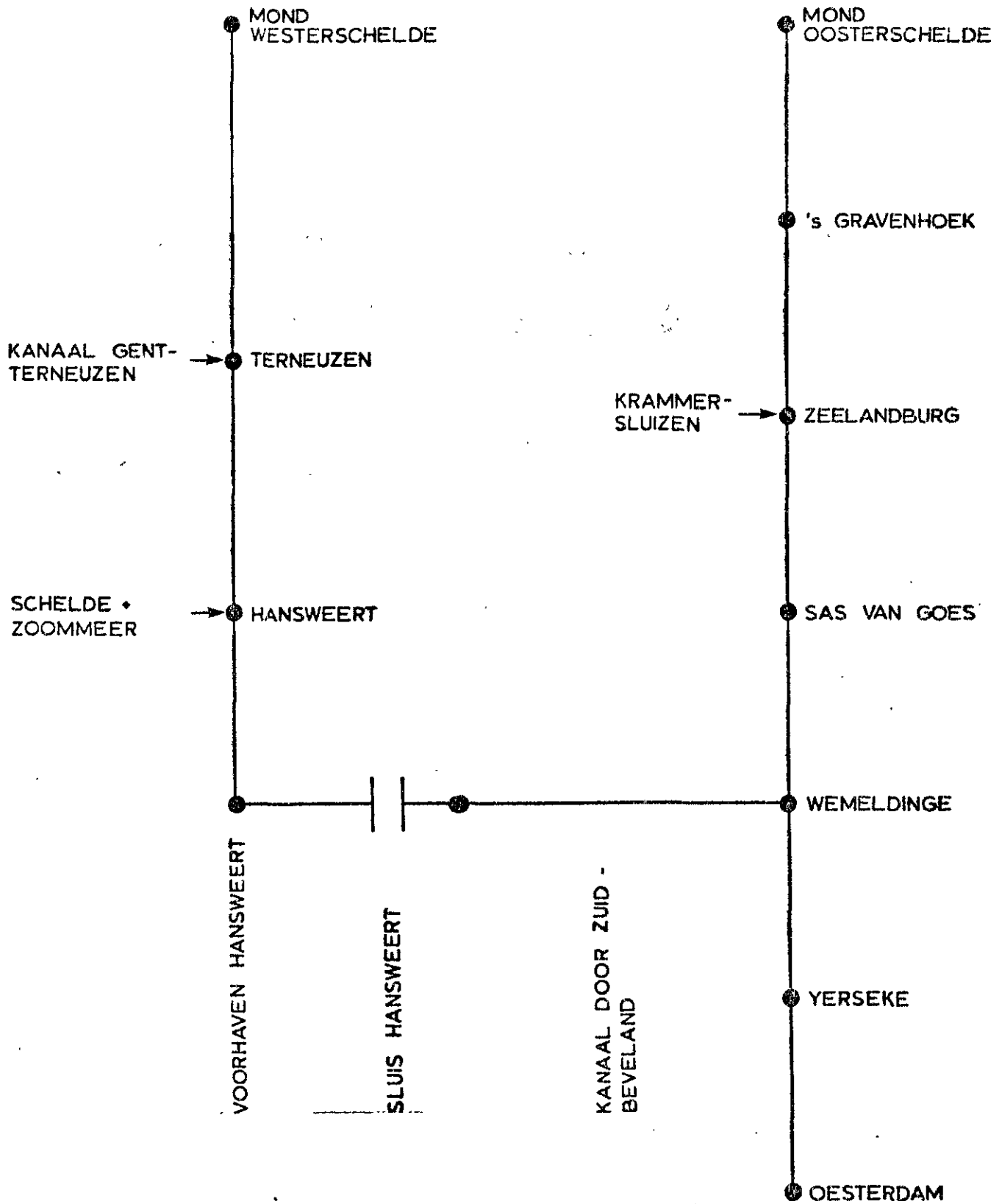
- [1] Het zoutgehalte in de Kom van de Oosterschelde in de C3-situatie bij verschillende zoetwaterbelastingen en eventuele rondstroming naar de Westerschelde, nota DDWT-77.242, Deltadienst R.W.S.
- [2] Rapport M 1603, Waterloopkundig Laboratorium, in voorbereiding.
- [3] Eéndimensionale numerieke berekening van getijbeweging en zoutverdeling in de getijgoot, rapport M 896-30, Waterloopkundig Laboratorium 1978.
- [4] Maandelijkse zoutmetingen Kanaal van Gent naar Terneuzen 1975, District Zuid-West, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, R.W.S.
- [5] G. Abraham, P. v.d. Burgh, P. de Vos, Pneumatic barriers to reduce salt intrusion through locks, Rijkswaterstaat Communications 17, 1973.
- [6] Enige notities betreffende de bepaling van het chloridetransport door een schutsluis, nota 43.002.05, District Zuid-West, directie Waterhuishouding en Waterbeweging.
- [7] Berekening van de schutwaterhoeveelheden door het toekomstige sluisencomplex te Hansweert, nota S76.52, Dienst Verkeerskunde, R.W.S.
- [8] Analyse Oosterschelde Alternatieven, Rijkswaterstaat, mei 1976.
- [9] Zout/zoet problematiek Oosterschelde en Zoommeer, rapport R 1261, Waterloopkundig Laboratorium, in concept.
- [10] De chloride - belasting en het zoetwaterverlies via de schutsluizen van het toekomstige Zoommeer, nota 24.001.16, District Zuid-West, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging R.W.S.

* Lijst van bijlagen.

- Bijlage 1 Netwerk-schematisatie van het systeem Oosterschelde-Westerschelde t.b.v. de 1D-diffusieberekening.
- Bijlage 2 Invloed van uitwisseling door de sluis bij Hansweert op het zoutgehalte in de kom van de Oosterschelde (Oesterdam) en het effect van terugspoelen, berekend voor de periode oktober 1974 - december 1974. Bij de "neutrale" berekening is het kanaal door Z-Beveland van de Oosterschelde afgesloten.
De verschillende krommen Ia, Ib,, IIIc komen overeen met verschillende series dispersiecoëfficiënten (zie tabel I).
- Bijlage 3 Idem, nu voor de periode november 1977 - januari 1978.

		<u>Formaat</u>	<u>tek.nr.</u>
Bijlage 1	: Netwerk-schematisatie Oosterschelde-Westerschelde.	din A4	79W0265
Bijlage 2	: Invloed uitwisseling door sluis op zoutgehalte kom O.S. bij variabel terugspoel-debiet.	din A4	79W0266
Bijlage 3	: Invloed uitwisseling door sluis op zoutgehalte kom O.S. bij variabel terugspoel-debiet.	din A4	79W0267

K U S T G E B I E D



rijkswaterstaat
deltadienst - hoofdafdeling waterloopkunde

getekend accoord projectcode :

V7712 Ø04

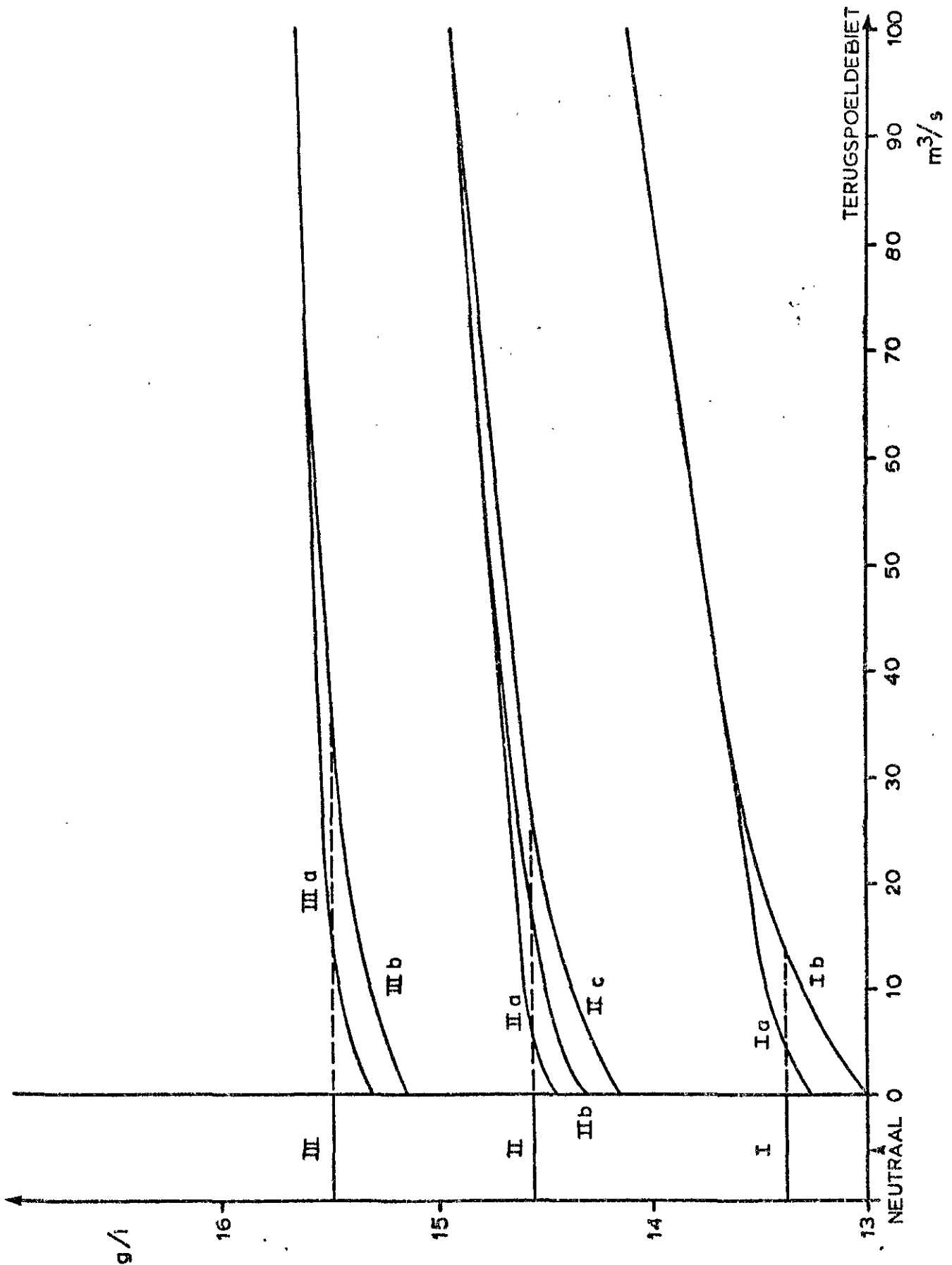
NETWERK - SCHEMATISATIE OOSTERSCHELDE - WESTERSCHELDE

nota DDWT-79.023 bijlage 1

din A 4

nr.79W0265

CHLORIDEGEHALTE KOM OOSTERSCHELDE DEC. '74



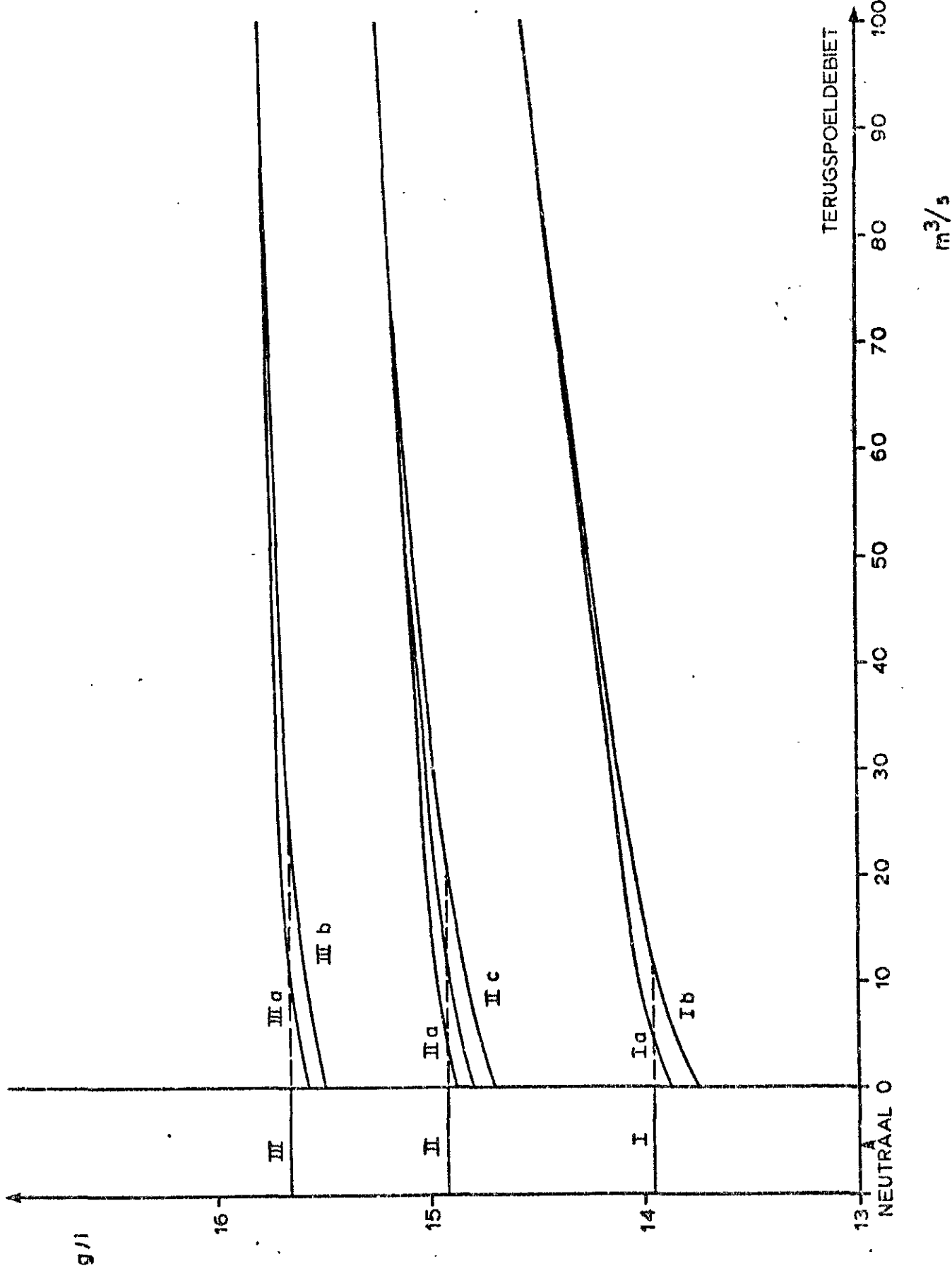
rijkswaterstaat
deltadienst - hoofdafdeling waterloopkunde

getekend	accoord	projectcode :
		V7712Ø04

INVLOED UITWISSELING DOOR SLUIS OP ZOUTGEHALTE KOM
OOSTERSCHELDE BIJ VARIABEL TERUGSPOELDEBIET

nota DDWT-79.023	bijlage 2
din A 4	nr 79 W0266

CHLORIDEGEHALTE KOM OOSTERSCHELDE JAN. '78



rijkswaterstaat
deltadienst - hoofdafdeling waterloopkunde

INVLOED UITWISSELING DOOR SLUIS OP ZOUTGEHALTE KOM
OOSTERSCHELDE BIJ VARIABEL TERUGSPOELDEBIET

getekend	accoord	projectcode :
		V7712004
nota DDWT-79.023		bijlage 3
din A 4	nr 79W0267	