

nota DDWT-77.242

HET ZOUTGEHALTE IN DE KOM VAN DE
OOSTERSCHELDE IN DE C3-SITUATIE
BIJ VERSCHILLENDE ZOETWATER-
BELASTINGEN EN EVENTUELE ROND-
STROMING NAAR DE WESTERSCHELDE.

RELATIEF No. 26271977

projectcode: V77D204E

titel:

auteur(s): dr. J. Dronkers

datum: november 1977

bijlagen: zie blz. 11

samenvatting:

1. Inleiding

In deze nota wordt bekeken:

- a) het effect van de stormvloedkering ($\mu A = 15.000 \text{ m}^2$) en de compartimentering (C3) op het zoutgehalte in de kom van de Oosterschelde,
- b) het effect van een kleine zoetbelasting ($\leq 4 \text{ m}^3/\text{s}$) als deze plaats zou vinden achter in de kom,
- c) het effect van een zoute rondstroming naar de Westerschelde via een doorlaatmiddel achter in de kom (niet te verwarren met een lozingsmiddel Zoommeer-Westerschelde).

Het kwantitatieve effect op de Westerschelde wordt niet in deze beschouwing opgenomen.

Het wiskundige model dat aan deze berekeningen ten grondslag ligt wordt behandeld in par. 2. De bepaling van de uitwisselingscoëfficiënt is het onderwerp van par. 3 en in par. 4 worden schematisatie en berekeningen uiteengezet. De resultaten worden besproken in par. 5.

2. Het rekenmodel

Het gebruikte rekenmodel is al in een vorige nota toegelicht [1]. In dit model wordt de chlorideverdeling $c(x)$ in verband gebracht met een uitwisselingscoëfficiënt D . De betekenis van deze uitwisselingscoëfficiënt kan als volgt toegelicht worden:

Beschouw een (denkbeeldig) vlak dwars over het hele estuarium, dat loodrecht staat op de gemiddelde stroomrichting, en dat de getijbeweging volgt met de gemiddelde stroomsnelheid. Indien gedurende de getijbeweging geen enkele uitwisseling van watermassa's dóór dit vlak plaatsvindt, dan is er geen penetratie van stoffen vanuit zee (b.v. zout) mogelijk. Het denkbeeldige vlak zal t.g.v. de oppervatertoevoer naar de mond van het estuarium vervoerd worden en het estuarium zal zodoende geheel verzoeten. In werkelijkheid gebeurt dit laatste echter niet, dus vindt wel degelijk een transport van materie plaats dóór het denkbeeldige vlak, d.w.z. worden er watermassa's dóór het vlak uitgewisseld gedurende de getijcyclus. De uitwisselingscoëfficiënt D zegt nu welke hoeveelheid water V door het vlak wordt uitgewisseld, en over welke gemiddelde afstand l deze uitwisseling plaatsvindt.

In formulevorm:

$$D = \frac{V \cdot l}{A \cdot T} \quad , \quad (1)$$

waar A = doorstroomprofiel ,
 T = getijperiode.

Deze formule toont aan dat de uitwisselingscoëfficiënt op een eenvoudige wijze in verband gebracht kan worden met fysisch relevante grootheden. Overigens betekent dit niet dat de coëfficiënt D eenvoudig te bepalen is langs theoretische weg. Langs experimentele weg is dit echter wél mogelijk, als zich een stationaire toestand heeft ingesteld. De chlorideverdeling $c(x)$ voldoet dan nl. aan de vergelijking

$$Q c = D A \frac{dc}{dx} + K \quad , \quad (2)$$

waar Q de getijgemiddelde afvoer en K het getijgemiddelde zouttransport in het systeem voorstelt.

Als het erom gaat de chlorideverdeling te voorspellen in situaties welke (nog) niet in de natuur gerealiseerd zijn, dan wordt weer gebruik gemaakt van vergelijking (2), maar nu met de chlorideverdeling $c(x)$ als onbekende funktie. De uitwisselingscoëfficiënt moet dan wel eerst bepaald worden. Dit geschiedt op basis van de volgende overwegingen:

Voor de uitwisselingscoëfficiënt D zijn in eerste orde de volgende factoren maatgevend: a) de geometrie van het estuarium (semilokaal, overeenkomstig met de vloedweg), b) de getijparameters (zowel horizontaal als vertikaal getij), c) de zoetwatertoevoer .

In de meeste gevallen is men geïnteresseerd in de gevolgen van een waterbouwkundige ingreep in een estuarium. Veronderstel nu dat in de bestaande situatie de uitwisselingscoëfficiënt langs experimentele weg bepaald is, en dat men een idee heeft op welke manier de uitwisselingscoëfficiënt afhangt van de factoren a), b) en c), dan is het mogelijk de coëfficiënt D te bepalen in de nieuwe situatie. Hoe minder de factoren a), b) en c) in de nieuwe situatie afwijken van de oorspronkelijke situatie, des te betrouwbaarder is de bepaling van de uitwisselingscoëfficiënt met deze methode. Dit geldt in het bijzonder voor wijzigingen in de geometrie. Het effect hiervan is n.l. bijzonder moeilijk te kwantificeren.

De wijze waarop de uitwisselingscoëfficiënt D afhangt van de getijparameters is besproken in [1] .

Voor een vrij ondiep; goed gemengd estuarium met grote kombergingsgebieden geldt:

$$D \sim \bar{u}^2 \cdot \Delta h \quad , \quad (3)$$

waar $\bar{u}$ = gemiddelde eb/vloed-snelheid,

Δh = niveauverschil tussen hoog- en laagwater.

Bij de afleiding van deze formule is verondersteld dat de uitwisseling uitsluitend plaats vindt in gebieden, waar de diepte klein is t.o.v. het getijverschil Δh . Wanneer het getijverschil Δh klein is, of wanneer in het gebied de dieptelijnen een zeer onregelmatig karakter hebben (aanwezigheid

van "traps"), dan is het vertikale getij van minder belang en heeft men [2]

$$D \sim \bar{u}^2 \quad (4)$$

Wanneer een waterbouwkundige ingreep een sterke wijziging van de getijomstandigheden tot gevolg heeft, dan wordt het twijfelachtig of formules van het type (3) of (4) nog wel van toepassing zijn. Het is dan nl. niet uitgesloten dat het karakter van het uitwisselingsproces verandert, zodat extrapolatie vanuit de oorspronkelijke situatie niet meer mogelijk is. Dit is met name het geval, wanneer dichtheidsverschillen een belangrijke rol gaan spelen. Vanuit een theoretisch oogpunt is het moeilijk te bepalen wanneer dit het geval is. Vanuit de praktijk echter kan hierover wel iets gezegd worden. De bepaling van uitwisselingscoëfficiënten in andere estuaria met een analoge geometrische structuur verschaft inzicht in de te verwachten orde van grootte van de uitwisselingscoëfficiënt. Indien men hier bij de extrapolatie met (3), (4) sterk van afwijkt, dan is het waarschijnlijk dat men met nieuwe uitwisselingsmechanismen te doen heeft.

Het bovenstaande geldt ook voor wat betreft de variatie van de uitwisselingscoëfficiënt D met de zoetwatertoevoer Q . Uit een theoretisch oogpunt verwacht men geen variatie van D met Q in een goed gemengd estuarium. Enige variatie (ongeveer als $Q^{1/3}$) valt er uit meetgegevens wel af te leiden [3]. Aangezien in deze nota uitsluitend kleine zoetwatertoevoeren beschouwd worden, zal de variatie van D met Q verder buiten beschouwing gelaten worden.

3. De bepaling van de uitwisselingscoëfficiënt.

Uit bestaande natuurmetingen in de kom van de Oosterschelde is het niet mogelijk gebleken een voldoende nauwkeurige waarde van de uitwisselingscoëfficiënt te berekenen d.m.v. vergelijking (2). De reden hiervoor is dat de zoetwaterbelasting en daardoor ook de zoutgradiënt dermate klein zijn dat de relatieve onnauwkeurigheid erg groot is. Het leek daarom beter de uitwisselingscoëfficiënt te bepalen aan de hand van een proef met een permanente Rhodamine-lozing in het fysische model M1000 [4]. Bij deze proef kan de uitwisselingscoëfficiënt berekend worden zowel uit de aanpassingstijd van het systeem als uit de uiteindelijke stationaire verdeling. Beide methoden geven overeenkomstige resultaten, te weten [5]:

$$D = 150 \pm 40 \text{ m}^2/\text{s}.$$

(De uitwisselingscoëfficiënt is hier konstant verondersteld over een afstand van 20 km van het lozingspunt, de Kreekraksluizen).

Voor de extrapolatie naar de situatie C3, $\mu A = 15.000 \text{ m}^2$ geeft (3) :

$$D = 30 \text{ m}^2/\text{s}$$

en (4)

$$D = 50 \text{ m}^2/\text{s}.$$

Vergelijkend met analoge situaties (W. Schelde, Eems) lijkt het interval:

$$30 < D < 100 \text{ m}^2/\text{s} \quad (5)$$

een redelijke keus voor de uitwisselingscoëfficiënt in de kom van de Oosterschelde. Verondersteld wordt dat deze waarden gelden voor het hele traject Kats-Oesterdam (zie bijlage 1).

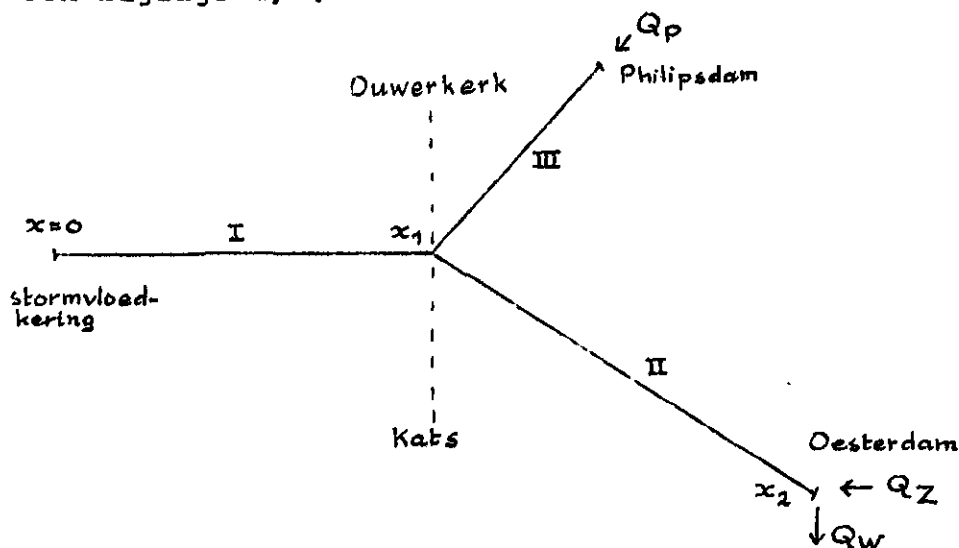
De uitwisselingscoëfficiënt D in de mond van de Oosterschelde is bepaald in [1] met als resultaat (C3, $\mu A = 15.000 \text{ m}^2$) :

$$70 < D < 140 \text{ m}^2/\text{s}. \quad (6)$$

Deze waarden gelden op het hele traject stormvloedkering-Kats.

4. Schematisatie en berekeningen.

In dit model is de Oosterschelde verdeeld in 3 stukken (zie ook bijlage 1) :



De zoutverdeling in tak III (Keeten-Mastgat-Zijpe) is besproken in [1], en zal hier verder buiten beschouwing worden gelaten. Verondersteld wordt dat de zoutverdeling in tak II alleen afhangt van het zoutgehalte in het splitsingspunt x_1 , maar niet van de zoutverdeling in tak III. Dit is het geval indien in de takken II en III de snelheden in fase zijn bij het splitsingspunt. Hieraan is niet exact voldaan, maar de benadering is waarschijnlijk toch goed vanwege de kleine snelheden in tak III.

In dit model zijn variabelen:

- Q_p = de zoetwatertoevoer door de Philipsdamsluizen ,
- Q_z = de zoetwatertoevoer uit het Zoommeer door de Oesterdam ,
- Q_w = het debiet van een zoute rondstroming naar de Westerschelde, via een doorlaatmiddel nabij de Oesterdam ,
- c_0 = het chloridegehalte in de mond van de Oosterschelde.

Het effect van een rondstroming door de Grevelingendam van of naar het Grevelingenmeer beïnvloedt nauwelijks het zoutgehalte bij het splitsingspunt ($x = x_1$) en is verder niet in beschouwing genomen.

Alle grootheden die in dit model genoemd worden (de chlorideverdeling $c(x)$, snelheden, debieten, etc.) zijn gedefinieerd

als gemiddelde waarden over het hele dwarsprofiel en over de getijcyclus.

In een stationaire toestand, voldoet de chlorideverdeling in tak I en tak II aan de vergelijkingen:

$$(Q_W - Q_P - Q_Z) c - D_I A_I \frac{dc}{dx} = Q_W c_2, \quad 0 \leq x \leq x_1, \quad (7)$$

$$(Q_W - Q_Z) c - D_{II} A_{II} \frac{dc}{dx} = Q_W c_2, \quad x_1 \leq x \leq x_2. \quad (8)$$

Hier is

c_2 = chloridegehalte bij $x = x_2$ (Oesterdam),

D_I (D_{II}) = de uitwisselingscoëfficiënt in tak I (II),

A_I (A_{II}) = het gemiddelde doorstroomprofiel in tak I (II).

Numerieke waarden zijn:

voor D_I vergelijking (6) ,

voor D_{II} vergelijking (5) ,

$A_I = 67.000 \text{ m}^2$, $A_{II} = 30.000 \text{ m}^2$,

$x_1 = 19.500 \text{ m}$, $x_2 = 42.400 \text{ m}$.

Met de randvoorwaarde $c(x=0) = c_0$

is de oplossing van de vergelijkingen (7)

en (8)

$$c(x) = \frac{Q_W}{Q_I} c_2 + (c_0 - \frac{Q_W}{Q_I} c_2) e^{\frac{Q_I}{D_I A_I} x}, \quad 0 \leq x \leq x_1, \quad (9)$$

$$c(x) = \frac{Q_W}{Q_{II}} c_2 + (c_1 - \frac{Q_W}{Q_{II}} c_2) e^{\frac{Q_{II}}{D_{II} A_{II}} (x-x_1)}, \quad x_1 \leq x \leq x_2 \quad (10)$$

Hier is

$$Q_I = Q_W - Q_P - Q_Z, \quad Q_{II} = Q_W - Q_Z.$$

Verder is

$$c_1 = c(x=x_1) = \frac{(1 + m_2) e^{r_1}}{1 + m_2 + m_1 e^{r_2}} c_0,$$

$$c_2 = c(x=x_2) = \frac{e^{r_1 + r_2}}{1 + m_2 + m_1 e^{r_2}} c_0,$$

met

$$r_1 = Q_I x_1 / D_I A_I ,$$

$$r_2 = Q_{II} (x_2 - x_1) / D_{II} A_{II} ,$$

$$m_1 = (e^{r_1} - 1) Q_W / Q_I ,$$

$$m_2 = (e^{r_2} - 1) Q_W / Q_{II} .$$

Het feit dat voor het doorstroomprofiel A en de uitwisselingscoëfficiënt D in iedere tak gemiddelde constante waarden gebruikt zijn, heeft geen rekentechnische oorzaak. De vergelijkingen (7) en (8) laten zich n.l. net zo gemakkelijk integreren wanneer deze grootheden met x variëren. Over de variatie van D met x binnen een tak is echter onvoldoende bekend om een zinvolle bepaling te kunnen maken van de variatie van het produkt AD .

5. Resultaten

Omdat de Noordzee de enige zoutbron is in het model, zijn alle zoutgehalten evenredig met het zoutgehalte in de mond van de Oosterschelde. Er zal dan ook slechts over relatieve zoutgehalten gesproken worden.

Om een idee te geven hoe het zoutgehalte verloopt in de Oosterschelde als een functie van de afstand x , is deze verdeling in een bijzonder geval geschetst in bijlage 2. Verder zal alleen gekeken worden naar het zoutgehalte c_2 achter in de kom van de Oosterschelde, nabij de Oesterdam. Dit wordt getoond in bijlagen 3, 4 en 5 voor verschillende numerieke waarden van de uitwisselingscoëfficiënt.

Als men uitgaat van bijlage 4 (uitwisselingscoëfficiënten $D_I = 100 \text{ m}^2/\text{s}$, $D_{II} = 50 \text{ m}^2/\text{s}$) als meest waarschijnlijke situatie en rekening houdend met de resultaten van bijlagen 3 en 5, dan kan geconcludeerd worden dat:

- het zoutgehalte met $(0,01 - 0,03) c_0$ daalt als het debiet door de Philipssluisen Q_P toeneemt van 15 tot $25 \text{ m}^3/\text{s}$.
- het zoutgehalte met $(0,01 - 0,02) c_0$ daalt bij een vergroting van $1 \text{ m}^3/\text{s}$ van het debiet Q_Z door de Oesterdam.
- de zoute rondstroming naar de Westerschelde het zoutgehalte in sterkere mate doet stijgen, naarmate het zoutgehalte op de Oosterschelde lager is. Bij constante Q_P en Q_Z veroorzaakt het instellen van een rondstroming Q_W van $100 \text{ m}^3/\text{s}$ een stijging van $(0,03 - 0,05) c_0$ als $c_2 < 0,09 c_0$ en een stijging van $(0,01 - 0,03) c_0$ als $c_2 > 0,9 c_0$.
- bij een zoute rondstroming Q_W van $100 \text{ m}^3/\text{s}$, en $Q_Z \leq 2 \text{ m}^3/\text{s}$, is het zoutgehalte achter in de Oosterschelde altijd hoger dan $0,9 c_0$. Zonder zoute rondstroming kan dit niet gegarandeerd worden.
- bij een zoute rondstroming Q_W van $100 \text{ m}^3/\text{s}$, ligt het betrouwbaarheidsinterval van het berekende zoutgehalte rond $0,03 c_0$. Zonder zoute rondstroming is dit betrouwbaarheidsinterval $0,07 c_0$.

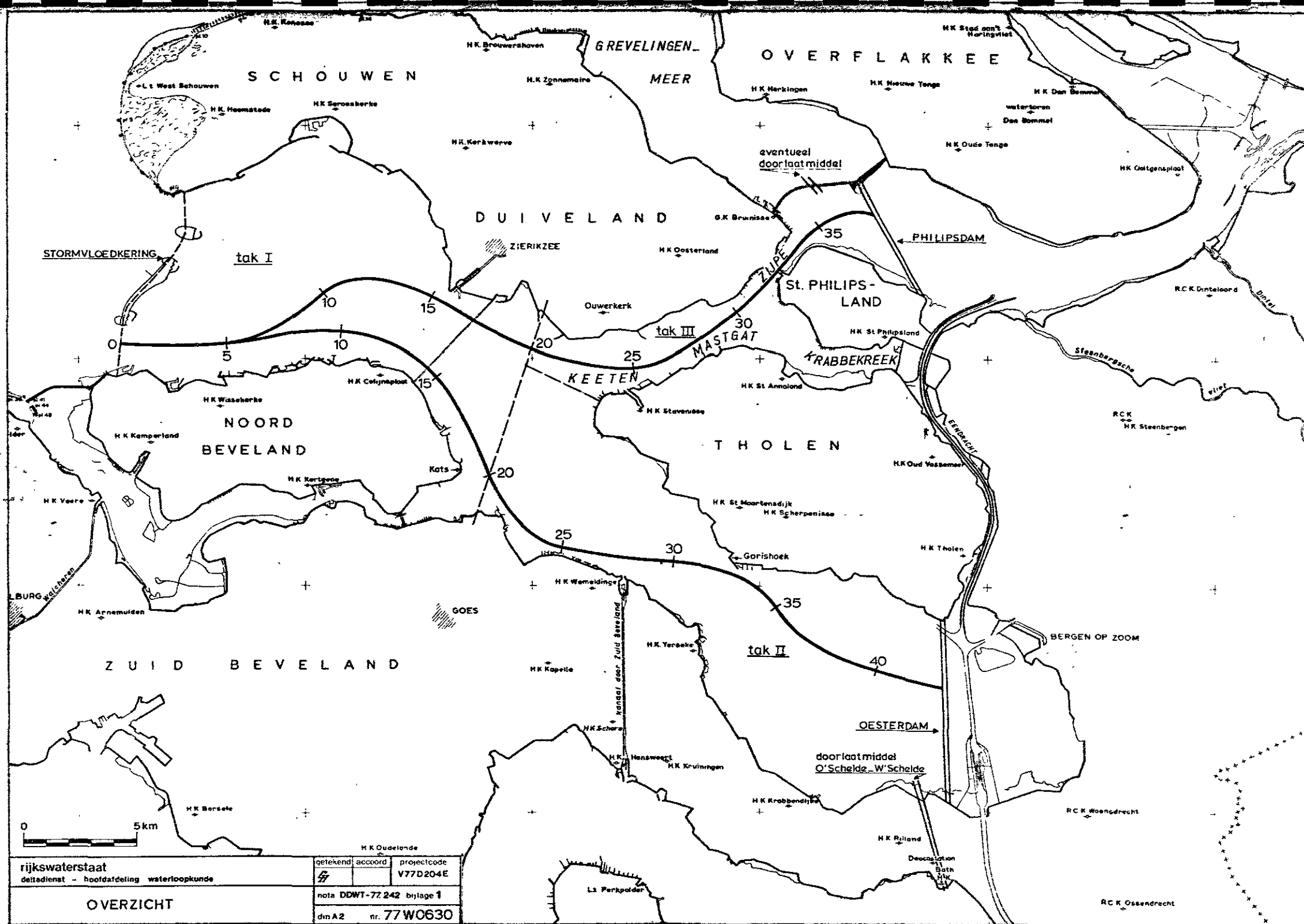
De zoute rondstroming van de Oosterschelde naar de Westerschelde zal een verhoging van het zoutgehalte tot gevolg hebben achter in de Westerschelde (trajekt Bath - Hansweert). Om dit effect te kwantificeren is een aparte studie noodzakelijk.

Referenties

- [1] Nota DDWT 77.038, Voorspelling van het zoutgehalte in de Oosterschelde in de gecompartmenteerde situatie C3, met effectieve doorstroomopening $\mu A = 15.000 \text{ m}^2$ - een eerste benadering, RWS, 1977.
- [2] A.OKUBO, Netherlands Journal of Sea Research 6 (1973) 213.
- [3] Nota 01 - 72, Ontwikkeling van een methode voor het voorspellen van zoutverdelingen in estuaria, kanalen en zeeën, Deltadienst RWS, 1972.
- [4] Rapport M 1405, Verspreiding Schutwater Kreekraksluizen in de kom van de Oosterschelde, WL Delft, 1976.
- [5] Intern rapport Waterloopkundige Hoofdafdeling Deltadienst, RWS, in voorbereiding.

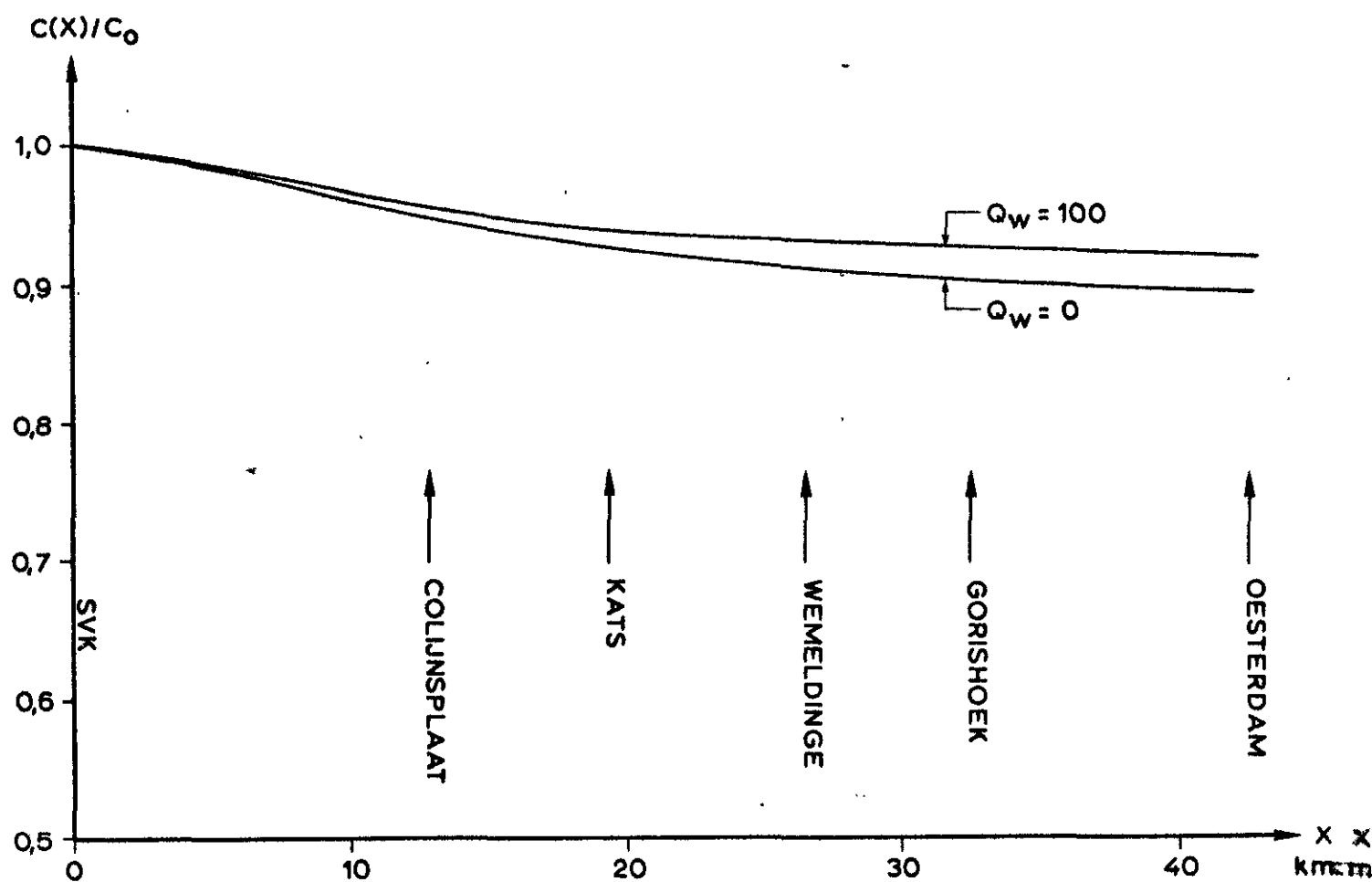
Lijst van bijlagen

- Bijlage 1 Din A2 Nr.77W0630 Overzichtskaart met indicatie schematisatie en afstanden langs geulas (in kilometers).
- Bijlage 2 Din A4 Nr.77W0631 De chlorideverdeling $C(x)$ gerelateerd aan het zeechloridegehalte C_0 in de gecompartmenteerde Oosterschelde, met zoetwaterbelasting
 $Q_p = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ door de Philipsdam, $Q_z = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ door de Oesterdam, met en zonder rondstroming Q_w naar de Westerschelde.
- Bijlage 3 Din A4 Nr.77W0632 Het zoutgehalte bij de Oesterdam gerelateerd aan het zeezoutgehalte bij verschillende zoetwatertoevoeren Q_p door de Philipsdam, Q_z door de Oesterdam en bij verschillende rondstromingsdebieten Q_w naar de Westerschelde. De uitwisselingscoëfficiënten zijn $D_I = 70 \text{ m}^2/2$, $D_{II} = 30 \text{ m}^2/\text{s}$.
- Bijlage 4 Din A4 Nr.77W0633 Idem bijlage 3. De uitwisselingscoëfficiënten zijn $D_I = 100 \text{ m}^2/\text{s}$, $D_{II} = 50 \text{ m}^2/\text{s}$.
- Bijlage 5 Din A4 Nr.77W0634 Idem bijlage 4. De uitwisselingscoëfficiënten zijn $D_I = 140 \text{ m}^2/\text{s}$, $D_{II} = 100 \text{ m}^2/\text{s}$.



ZOETWATERBELASTING $Q_p = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ DOOR DE PHILIPSDAM,
 $Q_z = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ DOOR DE OESTERDAM, MET EN ZONDER RONDSTROMING
 Q_w NAAR DE WESTERSCHELDE.

UITWISSELINGSCOEFFICIENTEN $D_I = 100 \text{ m}^2/\text{s}$, $D_{II} = 50 \text{ m}^2/\text{s}$



rijkswaterstaat

deltadienst - hoofdafdeling waterloopkunde

getekend

AR.

accoord

projectcode :

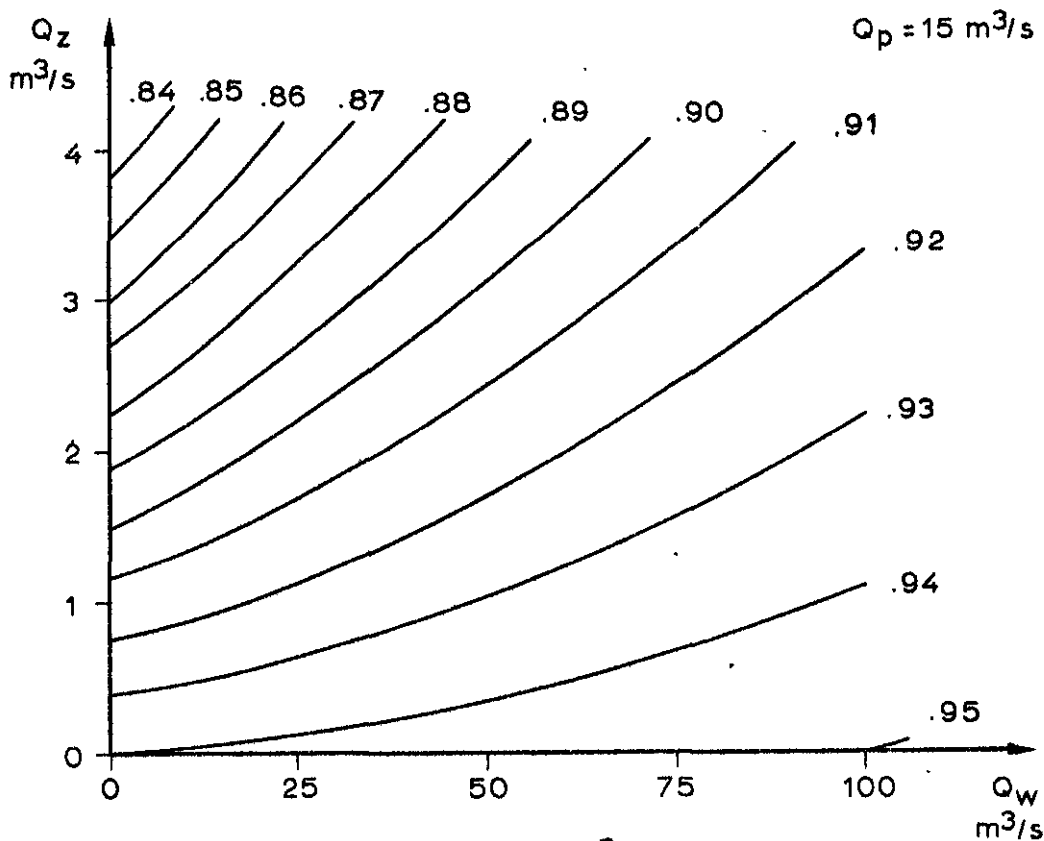
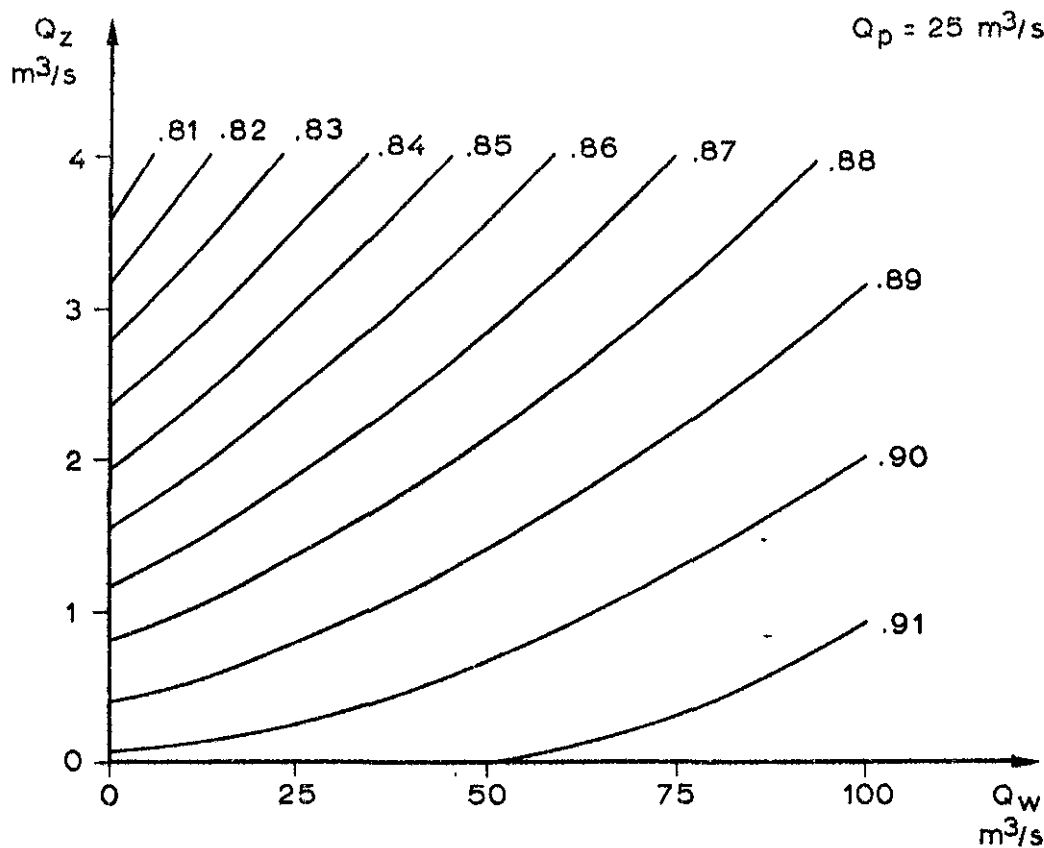
V77D204E-E

DE CHLORIDEVERDELING $C(X)$ GERELATEERD AAN HET
 ZEECHLORIDEGEHALTE C_0 IN DE GECOMPARTIMENTEERDE
 OOSTERSCHELDE.

nota DDWT-77.242 bijlage 2

din A 4

nr. 77W0631



rijkswaterstaat

deltadienst - hoofdafdeling waterloopkunde

getekend

AR.

accoord

projectcode

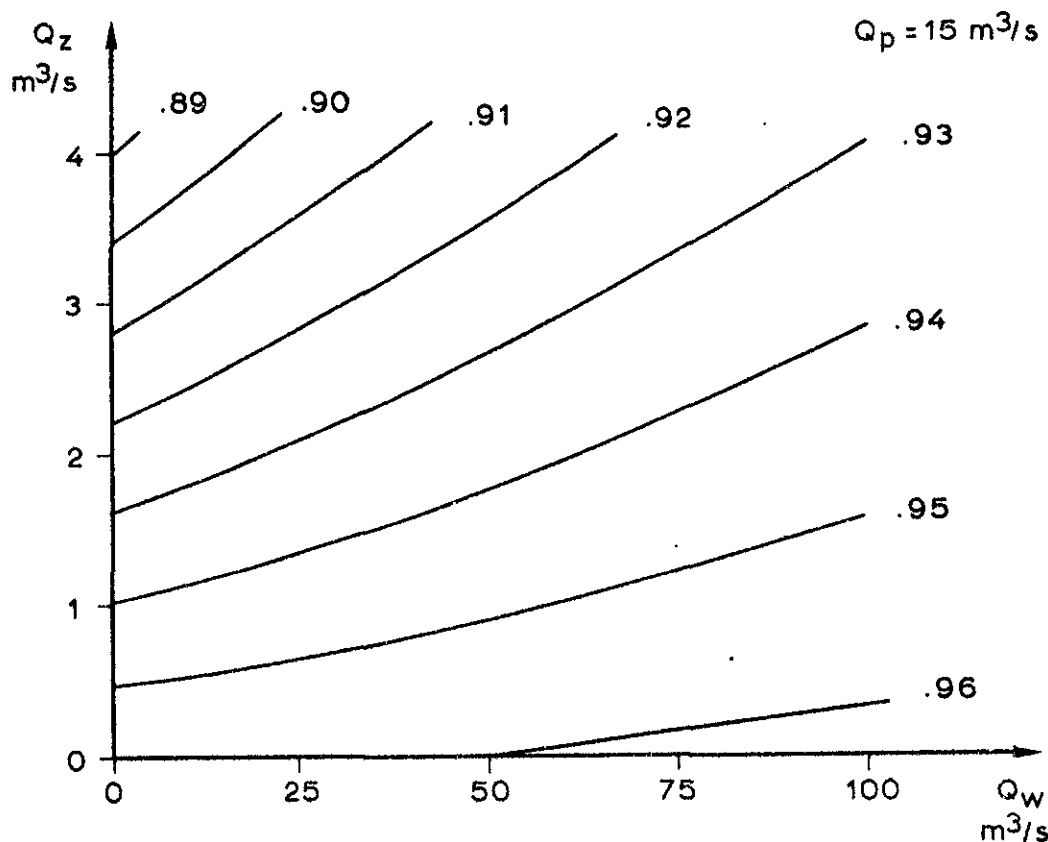
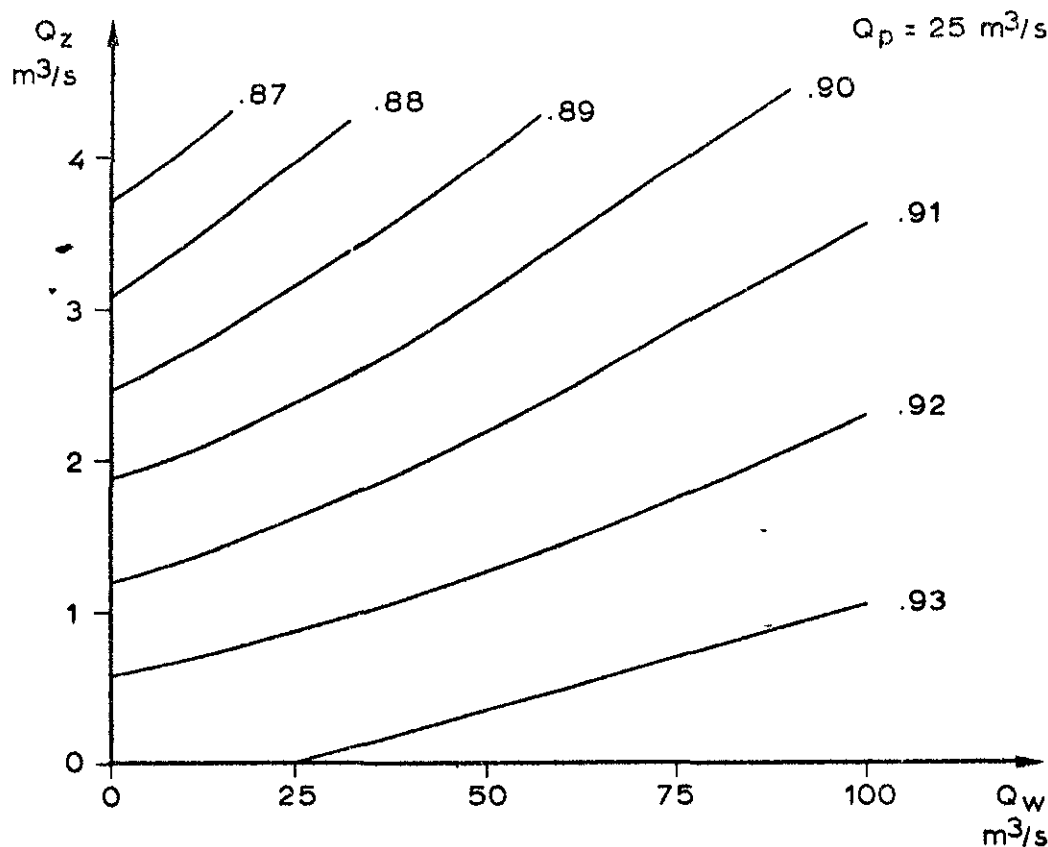
V77D204E

HET ZOUTGEHALTE BIJ DE OESTERDAM GERELATEERD AAN HET ZEEZOUTGEHALTE BIJ VERSCHILLENDE ZOETWATERTOEFVOEREN Q_p DOOR DE PHILIPSDAM EN Q_z DOOR DE OESTERDAM EN BIJ VERSCHILLENDE RONDSTROMINGSDEBIETEN Q_w NAAR DE WESTERSCHDEL.

nota DDWT-77.242 bijlage 3

din A 4

nr. 77W0632



rijkswaterstaat
deltadienst - hoofdafdeling waterloopkunde

gelekend

accoord

projectcode

AR

V77D2044E

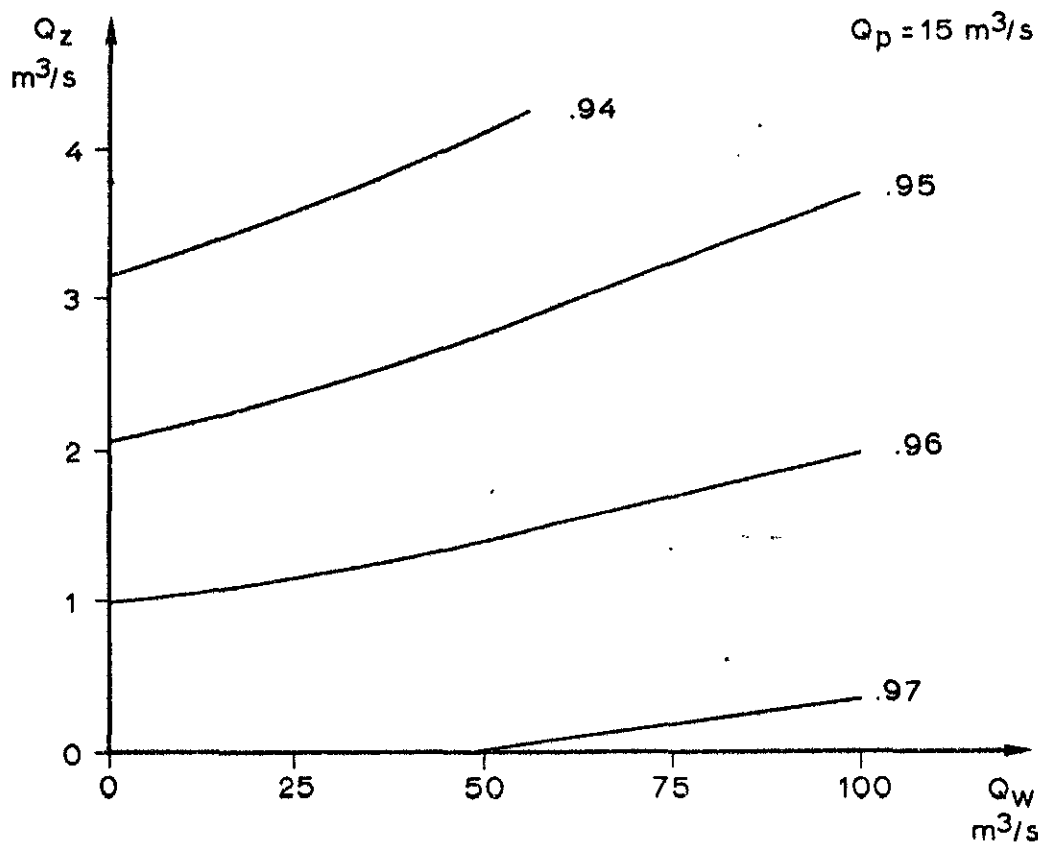
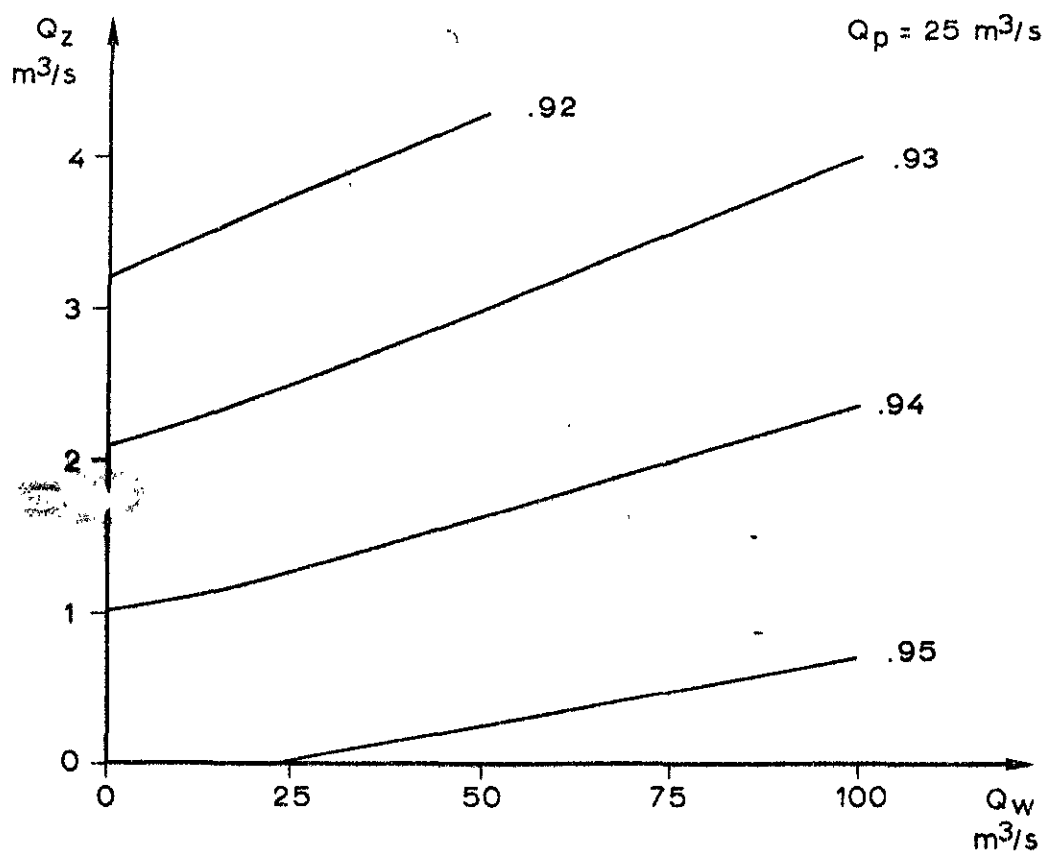
HET ZOUTGEHALTE BIJ DE OESTERDAM GERELATEERD AAN HET ZEEZOUTGEHALTE BIJ VERSCHILLENDE ZOETWATERTOEFVOEREN Q_p DOOR DE PHILIPSDAM EN Q_z DOOR DE OESTERDAM EN BIJ VERSCHILLENDE RONDSTROMINGSDEBIETEN Q_w NAAR DE WESTERSCHDELDE.

nota DDWT-77.242 bijlage 4.

din A 4

nr. 77W06333

UITWISSELINGSCOËFFICIENTEN $D_I = 140 \text{ m}^2/\text{s}$, $D_{II} = 100 \text{ m}^2/\text{s}$



rijkswaterstaat

deltadienst - hoofdafdeling waterloopkunde

gefekend

BR

accoord

projectcode

V77D204E

HET ZOUTGEHALTE BIJ DE OESTERDAM GERELATEERD AAN HET ZEEZOUTGEHALTE BIJ VERSCHILLENDE ZOETWATERTOEOVOEREN Q_p DOOR DE PHILIPSDAM EN Q_z DOOR DE OESTERDAM EN BIJ VERSCHILLENDE RONDSTROMINGSDEBIETEN Q_w NAAR DE WESTERSCHELDE.

nota DDWT-77.242 bijlage 5

din A 4

nr. 77W0634