



waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

Manipulaties Haringvlietsluizen

De gevolgen van een gewijzigd beheersregime van
de Haringvlietsluizen voor de waterbeweging en
zoutindringing in het Noordelijk Deltabekken

afstudeerverslag
tekst en tabellen

oktober 1987

Manipulaties Haringvlietsluizen

**De gevolgen van een gewijzigd beheersregime van
de Haringvlietsluizen voor de waterbeweging en
zoutindringing in het Noordelijk Deltabekken**

**afstudeerverslag
tekst en tabellen**

oktober 1987

Voorwoord

In opdracht van de Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren heeft het Waterloopkundig Laboratorium een studie verricht naar de gevolgen van een gewijzigd beheersregime van de Haringvlietsluizen voor het Noordelijk Deltabekken. In deze studie, "Manipulaties Haringvlietsluizen" zijn de waterbeweging, de zoutindringing, de morfologie, de waterkwaliteit en de ecologie van het betrokken gebied beschouwd.

In het kader van mijn afstuderen aan de Technische Universiteit Delft bij de vakgroep Waterbouwkunde onder verantwoordelijkheid van prof. dr. ir. J.P.Th. Kalkwijk heb ik een bijdrage mogen leveren aan bovengenoemde studie.

Tijdens mijn werkzaamheden bij het Waterloopkundig Laboratorium ben ik begeleid door ir. F.E. van Kruiningen. Zijn begeleiding en adviezen hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan het tot stand komen van mijn afstudeeronderzoek.

In zijn oorspronkelijke vorm is dit afstudeerverslag een onderdeel van de rapportage van de studie "Manipulaties Haringvlietsluizen". De tekst is op een aantal details aangepast om de leesbaarheid als afzonderlijk afstudeerverslag te vergroten.

Delft, oktober 1987

E.J. Zandbergen

INHOUD

	blz
<u>1</u> <u>Inleiding</u>	1
<u>2</u> <u>Analyse</u>	4
2.1 Beschrijving van de inhomogene waterbeweging.....	4
2.2 Huidig beheersregime van de Haringvlietsluizen.....	6
2.3 De inhomogene waterbeweging in het NDB bij het huidige beheers- regime van de Haringvlietsluizen.....	8
2.4 Onderzoeksgevallen.....	12
<u>3</u> <u>Onderzoeksaanpak</u>	19
3.1 Randvoorwaarden.....	19
3.2 Onderzoeksmiddelen.....	20
3.3 Onderzoeksprogramma.....	28
<u>4</u> <u>Resultaten</u>	30
4.1 Inleiding.....	30
4.2 Spuimanipulaties.....	31
4.3 Haringvlietsluizen 100% open: proef F, G, M en J.....	33
4.4 Haringvlietsluizen 50% open: proef H en N.....	45
<u>5</u> <u>Interpretatie</u>	49
5.1 Haringvlietsluizen "dicht": Spuimanipulaties.....	49
5.2 Haringvlietsluizen "open".....	52
5.2.1 Het gebruik van ZWENDL en het Getijmodel Rijnmond bij de onderzoeksgevallen Haringvlietsluizen "open".....	52
5.2.2 Verdere uitwerking van de estuarium getallen en van de "locale invloed" van de Haringvlietsluizen op de inhomogene waterbeweging.....	62
5.2.3 Interpretatie van de onderzoeksgevallen Haringvliet- sluizen 100% en 50% "open".....	65

INHOUD (vervolg)

	blz.
<u>6</u> <u>Samenvatting/konklusies</u>	71
<u>7</u> <u>Aanbevelingen</u>	79

Lijst van belangrijke symbolen

Literatuur

Tabellen

Bijlagen

Figuren (apart gebundeld)

1 Inleiding

De benedenrivieren in het Noordelijk Deltabekken (NDB) vormen tezamen een estuarium (zie fig. 1). In een estuarium ontmoet het zoete rivierwater, het zoute water van de zee, hetgeen resulteert in een inhomogene waterbeweging. De inhomogene waterbeweging is van grote invloed op de vele functies die een estuarium vervult. Deze functies zijn deels natuurlijk van aard (bijv. afvoer van water en sediment), deels ten behoeve van de menselijke samenleving (bijv. scheepvaart, watervoorziening). Vandaar dat de mens tracht de inhomogene waterbeweging te beïnvloeden en daarmee bepaalde functies te optimaliseren.

In het NDB kan met behulp van de Haringvlietsluizen de inhomogene waterbeweging worden beïnvloed. Bij het huidige beheersregime zijn bij Bovenrijnafvoeren te Lobith ($=Q_{br}^*$) kleiner dan $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ de Haringvlietsluizen gesloten. Al het rivierwater stroomt via de Nieuwe Waterweg af naar zee. De getijbeweging in het NDB wordt volledig bepaald door het verticale getij bij Hoek van Holland. Zout dringt alleen via de Nieuwe Waterweg het NDB binnen. Bij hogere bovenafvoeren wordt een gedeelte van het rivierwater via de Haringvlietsluizen op zee gespuid. Dit gebeurt op een zodanige wijze dat er via de sluisen geen zout het Haringvliet binnendringt.

Als mogelijke oplossing van een aantal problemen bij het beheer van het NDB is een aantal alternatieve beheersregimes voor de Haringvlietsluizen gesuggereerd.

Deze vallen in twee groepen uiteen:

1. "Spuimanipulaties"

De verdeling van het rivierwater over de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen wordt veranderd.

- Spuien bij $Q_{br} < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$

Aanleiding voor een dergelijke ingreep zou een lozing van verontreinigingen als gevolg van kalamiteit, of het afvoeren van ijs kunnen zijn.

* De Maasafvoer is impliciet in deze parameter verwerkt.
Bij elke Q_{br} is een 50% Maasafvoer gedefinieerd (tabel 1)

- Haringvlietsluizen gesloten bij $Q_{br} > 1700 \text{ m}^3/\text{s}$

De totale (hoge) bovenafvoer komt via de Nieuwe Waterweg tot afstroming. De zoutindringing wordt sterk teruggedrongen. Doel van deze ingreep is het "doorspoelen" van slib in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas.

2. Haringvlietsluizen "open"

De Haringvlietsluizen zijn zowel tijdens eb als tijdens vloed geopend, alleen bij een grote middenstandsverhoging op zee worden zij gesloten; de Haringvlietsluizen worden als stormvloedkering gebruikt.

Het getij dringt zowel via de Nieuwe Waterweg als via het Haringvliet het NDB binnen. Het rivierwater stroomt via twee takken vrij af naar zee. Via de Haringvlietsluizen dringt zout het Haringvliet binnen.

Doel van een dergelijke wijziging van het beheersregime is de sedimentatie van verontreinigd slib in Haringvliet/Hollandsch Diep bekken door een sterkere horizontale getijbeweging te voorkomen.

Doel van dit afstudeerproject is de veranderingen in de waterbeweging en de zoutindringing in het NDB onder invloed van een gewijzigd beheersregime van de Haringvlietsluizen te bepalen. Voor de gevallen Haringvlietsluizen "open" heeft het onderzoek een oriënterend karakter.

Bij de verschillende alternatieve beheersregimes zijn de volgende aspecten beschouwd:

- waterbeweging; het vertikaal en horizontaal getij, de stroomsnelheden en de verdeling van de rivierafvoer
- zoutindringing; de longitudinale en verticale zoutverdeling, zowel langs de "noordrand" van het NDB (Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas en Oude Maas) als langs de "zuidrand" (Haringvliet, Hollandsch Diep).

De waterbeweging is berekend met behulp van het wiskundig model ZWENDL, de bijbehorende zoutindringing is bepaald in het getijmodel Rijnmond. De resultaten dienen mede als gegevens voor de andere onderdelen van het onderzoek "Manipulaties Haringvlietsluizen": de morfologie, de waterkwaliteit en de ecologie.

In dit afstudeerverslag komen achtereenvolgens per hoofdstuk aan de orde: een analyse van de inhomogene waterbeweging en het effect van de Haringvlietsluizen op de inhomogene waterbeweging, de opzet van het onderzoek, de onderzoeksresultaten, de interpretatie van de onderzoeksresultaten en de samenvatting/conclusies.

gradiënt water met een hogere dichtheid nabij de bodem landinwaarts worden getransporteerd (gravitatiecirculatie).

De inhomogene waterbeweging wordt daarnaast beïnvloed door:

- de geometrie van het estuarium
- wind
- lozingen en onttrekkingen
- Coriolis effecten
- scheepvaart
- regelmechanismen

Met de grootschalige verplaatsingen van water wordt zout meegevoerd (= convectief transport); met name de gravitatiecirculatie voert zout water langs de bodem het estuarium binnen. Het minder zware rivierwater stroomt via de oppervlaktelagen richting zee. In het "grensvlak" tussen het zoete en zoute water ontstaat door snelheidsverschillen menging. Het in de richting van de zee stromende zoete water voert daardoor een deel van het zoute water weer mee richting zee. De combinatie van gravitatiecirculatie en rivierafvoer laat zich kenmerken door een bepaalde gelaagdheid en lengte van de zoutindringing.

De getijbeweging beïnvloedt de mate van zoutindringing. Bij hoogwaterstroomkentering is de zoutindringing maximaal en bij laagwaterstroomkentering minimaal. De lengte van de getijwegen (evenredig met de stroomsnelheden) bepaalt de mate van variatie.

De waterbeweging gaat gepaard met turbulentie, die opgewekt wordt door wand- en bodemwrijving en interne snelheidsverschillen. Daarnaast wordt turbulentie veroorzaakt door snelheidsverschillen als gevolg van veranderingen in geometrie (kribben, dwarsprofiel).

Turbulentie heeft een mengende werking (turbulente diffusie) en breekt de gelaagdheid af. De zoutindringing/gravitatiecirculatie wordt hierdoor gereduceerd. Menging en verspreiding van zout water worden eveneens veroorzaakt door snelheidsverschillen in het dwarsprofiel en sekundaire stromingen. Onder invloed van de getijbeweging ontstaat door deze mengingsprocessen een longitudinale verspreiding van het zoute water.

In getijgootonderzoek (M896) is onderzocht wat de effecten van de variatie van de getijamplitude, de rivierafvoer en de waterdiepte (= geometrie en of middenstandsvariatiies) op de inhomogene waterbeweging zijn.

De konklusies van het onderzoek zijn kort samengevat:

- Bij kleine getijamplitudes zijn de gelaagdheid en zoutindringing groot. Bij grotere getijamplitudes wordt de gelaagdheid afgebroken en neemt de zoutindringing af. Bij nog grotere amplitudes is op een zeker moment sprake van een gemengde toestand en neemt de zoutindringing weer toe.
- Een grote rivierafvoer reduceert de zoutindringing en veroorzaakt een grote gelaagdheid en een kleine rivierafvoer heeft geringe gelaagdheid en een grote zoutindringing tot gevolg.
- Bij een toenemende waterdiepte zal de zoutindringing toenemen.

De gelaagdheid in een estuarium kan voor getijgemiddelde situatie worden geparаметeriseerd, bijvoorbeeld met behulp van het estuarium - Richardson getal.

$$Ri_E = \frac{\Delta\rho}{\rho} \frac{g Q_f}{b u_t^3}$$

$\Delta\rho$	= dichtheidsverschil tussen het rivier- en zeewater	[kg/m ³]
ρ	= dichtheid van water	[kg/m ³]
Q_f	= rivierafvoer	[m ³ /s]
b	= breedte van het estuarium	[m]
u_t	= karakteristieke profielgemiddelde stroomsnelheid van de getijbeweging.	[m/s]

Bij een gelaagd estuarium is $Ri_E > 0,8$; bij een gedeeltelijk gemengd/gelaagd (partly mixed) estuarium $0,08 < Ri_E < 0,8$, en bij een gemengd estuarium $Ri_E < 0,08$.

In de Nieuwe Waterweg is bij lage rivierafvoeren $Ri_E = 0,5$ à 1. Het estuarium is dus gelaagd tot gedeeltelijk gelaagd/gemengd.

[1], [2] en [3].

2.2 Huidig beheersregime van de Haringvlietsluizen

De afsluiting van het Haringvliet, met daarin een sluizencomplex dat dient om

overtollig rivierwater en ijs af te kunnen voeren, vormt een onderdeel van het Deltaplan [4]. Met het Deltaplan werden twee doelen beoogd:

1. Bescherming tegen stormvloeden
2. Beheersing van de (zoet) waterhuishouding van Nederland.

Deze laatste doelstelling valt in twee facetten uiteen:

- het sluitend maken van de nationale waterbalans van vraag en aanbod; ook in droge tijden.
- het tegengaan van de voortschrijdende verzilting vanuit zee van het benedenrivierengebied.

Het huidige beheersregime is o.a. op deze doelstellingen gebaseerd.

Het afvoeren van overtollig rivierwater via de Haringvlietsluizen gebeurt op een zodanige wijze dat er via de sluisen geen zout het Haringvliet binnendringt. De sluisen staan alleen open wanneer de waterstand aan de zeezijde van de Haringvlietsluizen lager is dan aan de rivierzijde. Bij de vaststelling van het huidig lozingsprogramma zijn waterhuishoudkundige en nautische belangen bepalend geweest. I.v.m. de verziltingsbestrijding op de Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas en Oude Maas wordt de rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg zo mogelijk tenminste op $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ gehouden.

Daarnaast is om nautische redenen (diepgang voor doorvaart naar Moerdijk, stroomsnelheden op de Dordtsche Kil en de Oude Maas) als uitgangspunt genomen dat het laagwater te Moerdijk - onder gemiddelde getijomstandigheden - niet onder NAP daalt.

Het huidig lozingsprogramma (LPH'84) is gerelateerd aan de Bovenrijnafvoer te Lobith.

- Bij Bovenrijnafvoeren tot $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn de sluisen gesloten op de zout- en visriolen na ($\pm 10 \text{ m}^3/\text{s}$ doorspoeldebiet gemiddeld over het getij)
- Bij Bovenrijnafvoeren tussen $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ en $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ is de sluisopening 25 m^2 ten behoeve van een gering doorspoeldebiet ($\pm 50 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Bij Bovenrijnafvoeren tussen de $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ en $9500 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt de spuiopening zodanig ingesteld dat de rivierafvoer via de Nieuwe Waterweg minimaal $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ bedraagt.
- Bij Bovenrijnafvoeren groter dan $9500 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt de maximale spuiopening ingesteld.

De Haringvlietsluizen vervullen bij het huidige beheersregime twee, voor dit onderzoek belangrijke, functies:

1. De Haringvlietsluizen bepalen de verdeling van de rivierafvoer over de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen, zie figuur 3.
2. De Haringvlietsluizen verhinderen het langs de zuidrand van het NDB binnendringen van het getij en van zout water.

2.3 De inhomogene waterbeweging in het NDB bij het huidige beheersregime van de Haringvlietsluizen

Bij $Q_{br} < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ komt al het rivierwater (op enkele kleine onttrekkingen na) via de Nieuwe Waterweg tot afstroming. De getijbeweging in het NDB wordt volledig bepaald door het verticale getij bij Hoek van Holland.

De getijvoortplanting wordt bepaald door de geometrie van de takken en de bovenstrooms gelegen kombergende gebieden. Een groot deel van de totale komberging in het NDB bevindt zich langs de zuidrand (Haringvliet, Hollandsch Diep, Biesbosch, Amer, Bergsche Maas, Maas), te weten circa 60% van in totaal 259 miljoen m^2 op NAP. De verbinding tussen de zuidrand en de rest van het bekken wordt gevormd door het Spui en de Dortsche Kil, die beide relatief nauw zijn. Gevolg hiervan is dat de getijbeweging langs de zuidrand sterk is gedempt, en sterk in fase achterloopt. In samenhang hiermee wordt de verticale getijbeweging op met name het Spui, de Dortsche Kil en de Oude Maas beheerst door de dempende werking van de zuidrand. Illustratief hiervoor is de snellere afname van de verticale getijamplitude op de Oude Maas dan op de Nieuwe Maas [5].

Uit berekeningen blijkt dat de specifieke combinatie van een bovenstrooms gelegen groot kombergend gebied met nauwe "verbindingstakken" een demping van de horizontale waterbeweging op de "inhomogene" takken aan de noordrand (de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas en de Oude Maas) veroorzaakt [6].

De inhomogene waterbeweging wordt in grote mate bepaald door deze horizontale waterbeweging en de geometrie van de takken langs de noordrand, en het faseverschil op het splitsingspunt Westgeul.

Hieronder volgt een beschrijving van de belangrijkste takken in het NDB.

Nieuwe Waterweg

De Nieuwe Waterweg heeft een lengte van ca. 20 km. De gemiddelde breedte bedraagt 400 à 500 m en de bodem ligt op ca. NAP -15,0 m. Bij lage afvoeren wordt al het rivierwater via de Nieuwe Waterweg naar zee afgevoerd. Het horizontale getij bij Hoek van Holland heeft een amplitude van ca. 6000 - 8000 m³/s, afhankelijk van doottij of springtij. Op het splitsingspunt Westgeul is de horizontale getijbeweging uit fase met die van de Nieuwe Maas en Oude Maas. De Nieuwe Maas kentert als eerste, een half uur later de Nieuwe Waterweg en vervolgens weer ruim een half uur later de Oude Maas (zie fig. 4). Dit verschil in kenteringstijdstippen is van invloed op de inhomogene waterbeweging, zie hiervoor de aparte beschrijving van het splitsingspunt Westgeul. Op de Nieuwe Waterweg is de zoutverdeling over de vertikaal gedeeltelijk gemengd/gelaagd. Bij toenemende horizontale getijbeweging (doottij → springtij) wordt de gelaagdheid verder afgebroken. De toenemende menging en daardoor reductie van de zoutindringing overheerst het effect van de grotere convectieve transporten. Per saldo is hierdoor op de Nieuwe Waterweg de zoutindringing bij doottij groter dan bij springtij, zie ook [7].

Oude Maas

De Oude Maas heeft een lengte van ca. 30 km. De gemiddelde breedte bedraagt ca. 200 m en de gemiddelde diepte is ca. NAP -10,0 m. Bij lage rivierafvoeren (gesloten Haringvlietsluizen) stroomt ca. 2/3 deel van de totale rivierafvoer via de Oude Maas-West naar zee. Hiervan wordt ca. 3/10 deel aangevoerd via het Spui. Het resterende deel (7/10) wordt grotendeels aangevoerd via de Dordtsche Kil. Het horizontale getij bij het splitsingspunt Westgeul heeft een amplitude van ca. 2200-3000 m³/s, afhankelijk van doottij of springtij.

Er is sprake van een gemengde tot gedeeltelijk gelaagde toestand. Het dichtheidsverloop fluktueert sterk met het getij. Bij lage rivierafvoeren $Q_{br} < 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ reikt de punt van de zouttong bij hoogwaterkentering tot voorbij Beerenplaat (splitsingspunt met het Spui). Evenals bij de Nieuwe Waterweg is bij doottij de zoutindringing maximaal.

Bij toename van de getijbeweging (doottij → normaal) neemt de zoutindringing af doordat de gelaagdheid wordt afgebroken.

Bij de overgang van normaal-tij naar spring-tij gaan de convectieve transporten overheersen. De zoutindringing neemt weer toe, zie ook [7].

Nieuwe Maas

De Nieuwe Maas heeft een lengte van ca. 24 km. De gemiddelde breedte bedraagt ca. 500 m, de bodem ligt op ca. NAP - 14,0 m in het havengebied (tussen km. raai 1000 en km. raai 1012) en op ca. NAP -9,0 tot -6,0 m in het bovenstroomse deel. Bij lage rivierafvoeren wordt ca. 1/3 deel van de bovenafvoer via de Nieuwe Maas naar zee gevoerd. Het horizontale getij bij het splitsingspunt Westgeul heeft een amplitude van ca. 3100 - 4700 m³/s, afhankelijk van doot-tij of spring-tij. De horizontale getijbeweging in het benedenstroomse gedeelte van de tak wordt ondermeer bepaald door het ruime dwarsprofiel en het grote kombergende oppervlak (grote breedte + aanliggende havens) van de tak, waardoor er minder traagheidseffekten zijn in de stroming; dit komt tot uiting in een "snelle" in- en uitstroming van de tak (zie fig. 4). Bij het splitsingspunt Westgeul kentert de Nieuwe Maas steeds als eerste ongeveer 1 uur na laagwater en 1 uur na hoogwater.

In het benedenstroomse deel is de zoutverdeling over de vertikaal gelaagd tot gedeeltelijk gemengd, en fluktueert weinig als functie van de dagelijkse getijbeweging. Een toename van de getijbeweging heeft meer menging tot gevolg, de zoutindringing wordt gereduceerd.

In het bovenstroomse (ondiepe) deel is de zoutverdeling over de vertikaal gemengder en fluktueert wel als functie van de dagelijkse getijbeweging.

Ook in dit deel van de tak is de zoutindringing bij doot-tij maximaal. Bij de overgang van doot-tij naar spring-tij overheerst in eerste instantie het effect van de toename van de menging (reduktie zoutindringing). Bij spring-tij zorgen de grotere convectieve transporten ervoor dat de zoutindringing niet meer afneemt, zie ook [7].

De punt van de zouttong reikt lage afvoeren $Q_{br} < 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ tot de monding van de Hollandsche IJssel.

Spui

Het Spui heeft een lengte van ca. 19 km. De breedte bedraagt ca. 150 m en de bodem ligt op ca. NAP -8,0 m. Bij lage rivierafvoeren komt 2/10 deel van de

bovenafvoer via het Spui tot afstroming. De getijbeweging van het westelijk deel van het Haringvliet wordt gevoed vanuit de getijbeweging van het Spui. Het horizontale getij heeft een amplitude van ca. 700 - 800 m³/s afhankelijk van doottij of springtij. Figuur 5 geeft een beeld van de horizontale getijbeweging bij het splitsingspunt met de Oude Maas. Het blijkt dat de 3-takken Oude Maas-West, Oude Maas-Oost en Spui vrijwel gelijktijdig kenteren. Bij rivierafvoeren $Q_{br} < 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ verzilt het splitsingspunt met de Oude Maas. Het zout reikt in het Spui bij $Q_{br} = 800 \text{ m}^3/\text{s}$, tijdens doottij ongeveer tot km.raai 1002.

Splitsingspunt Westgeul

Op het splitsingspunt Westgeul kenteren de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas en de Oude Maas uit fase (zie fig. 4) Eerst kentert de Nieuwe Maas, een half uur later kentert de Nieuwe Waterweg en weer ruim een half uur later kentert de Oude Maas.

De maximale zoutindringing op de Nieuwe Waterweg wordt bereikt rondom de hoogwaterstroomkentering. Op de Nieuwe Maas is het dan reeds eb. Instroming van zout water vanuit de Nieuwe Waterweg wordt door de ebstroming belemmerd. Het latere kenteringstijdstip op de Oude Maas bevordert daarentegen de instroming van zout water op de Oude Maas.

Bij laagwater-stroomketering stroomt relatief zoet water vanuit de Oude Maas richting Nieuwe Maas (die reeds eerder gekenterd is en waar het dan al vloed is).

Op het splitsingspunt ontstaan daardoor tussen de verschillende takken dichtheidsverschillen, waardoor er dichtheidsstromingen ontstaan.

Op het splitsingspunt is er dus sprake van grootschalige menging, die van invloed is op de inhomogene waterbeweging in de aansluitende takken.

Haringvliet/Hollandsch Diep bekken

Sinds de afsluiting van het Volkerak en het in gebruik nemen van de Haringvlietsluizen vormen het Haringvliet en het Hollandsch Diep tezamen een groot zoet bekken aan de zuidrand van het NDB. Het Haringvliet, met daarin het eiland Tiengemeten, heeft een lengte van 28 km (Haringvlietsluizen - Haringvlietbrug) en een gemiddelde breedte van ca. 3000 m. Karakteristiek voor het

Haringvliet zijn het geulenpatroon en de slikken aan de oevers. Het Hollandsch Diep heeft een lengte van 23 km (Haringvlietbrug-Lage Zwaluwe) een breedte van ca. 1800 m. Ook hier is sprake van een geulenpatroon.

Bij $Q_{br} < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ ontvangt het bekken alleen de afvoeren van de Nieuwe Merwede en de Maas. Het grootste gedeelte van dat rivierwater stroomt via het Spui en de Dordtsche Kil af naar het noorden. Een klein gedeelte wordt als doorspoeldebiet gebruikt, en via de Haringvlietsluizen op zee gespuid ($< 50 \text{ m}^3/\text{s}$). Ten behoeve van het Zoommeer kan water via de Volkeraksluizen worden onttrokken.

Het Haringvliet/Hollandsch Diep heeft een kleine verticale getijbeweging (getijslag 0,30 m bij $Q_{br} < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$). De hiervoor benodigde getijdebieten worden aan/afgevoerd door het Spui ($\hat{Q}M2 = 750 \text{ m}^3/\text{s}$), de Dordtsche Kil ($\hat{Q}M2 = 1800 \text{ m}^3/\text{s}$) en de Nieuwe Merwede ($\hat{Q}M2 = 200 \text{ m}^3/\text{s}$).

Door de relatief kleine getijdebieten in combinatie met het wijde doorstroomprofiel overschrijden de stroomsnelheden op het Haringvliet/Hollandsch Diep zelden de 0,25 m/s.

2.4 Onderzoeksgevallen

Zoals reeds in de inleiding vermeld, is het doel van dit afstudeerproject de veranderingen in de waterbeweging en de zoutindringing bij een gewijzigd beheersregime van de Haringvlietsluizen te bepalen. Per onderzoeksgeval worden de veranderingen in het verticale en horizontale getij, de stroomsnelheden en de verdeling van de rivierafvoer bepaald, alsmede de veranderingen in de longitudinale en verticale zoutverdeling.

In deze paragraaf zijn de te verwachten effecten van de verschillende alternatieve beheersregimes op de waterbeweging en de zoutindringing in het NDB beschreven. Daarnaast is per onderzoeksgeval een aantal meer specifieke onderzoeksaspecten nader uitgewerkt.

1. "Spuimanipulaties"

Spuien bij $Q_{br} < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$

Bij het huidige beheersregime wordt bij $Q_{br} < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ al het rivierwater langs de Nieuwe Waterweg gestuwd. Hiermee wordt de zoutindringing via de

Nieuwe Waterweg zoveel mogelijk beperkt. Wanneer via de Haringvlietsluizen een gedeelte van de rivierafvoer op zee wordt gespuid neemt de rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg af en daarmee de zoutindringing toe, zie ook [8].

De Haringvlietsluizen worden alleen geopend wanneer de waterstand aan de zeezijde van de sluizen lager is dan aan de rivierzijde. Hierdoor ontstaat aan de monding van het Haringvliet een quasi-horizontale getijbeweging, met een dubbeldaagse component ter grootte van het spuidebiet. De getijbeweging in het NDB wordt hierdoor beïnvloed [6]. Een verandering van de horizontale getijbeweging in het inhomogene gebied kan van invloed zijn op de menging en daarmee op de zoutindringing.

Naast de veranderingen t.o.v. de huidige situatie is bij dit onderzoeksgeval van belang hoe de inhomogene waterbeweging verandert wanneer er alternerend water wordt onttrokken langs de zuidrand van het NDB (= spuien tijdens eb) i.p.v. continu.

Antwoord op deze laatste vraag wordt verkregen door de resultaten van deze onderzoeksgevallen te vergelijken met gevallen uit "Lozingen en Onttrekkingen deel I" [8] waarbij continu zoet water wordt onttrokken ter plaatse van de Volkeraksluizen.

Haringvlietsluizen gesloten bij $Q_{br} > 1700 \text{ m}^3/\text{s}$

De totale (hoge) bovenafvoer komt via de Nieuwe Waterweg tot afstroming. De zoutindringing wordt sterk teruggedrongen.

In het hierdoor ontstane homogeen zoete gebied wordt de snelheidsverdeling niet meer beïnvloed door dichtheidsverschillen.

Bij dit onderzoeksgeval zijn ook de veranderingen in de snelheidsverdeling over de vertikaal op de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas van belang.

2 Haringvlietsluizen "open"

Haringvlietsluizen 100 % "open"

Alle $2 \times 17 = 34$ schuiven van de Haringvlietsluizen zijn zowel tijdens vloed als tijdens eb geopend; ook via de zuidrand dringen nu het getij en zout water het NDB binnen. De getijbeweging op het Haringvliet/Hollandsch Diep hoeft niet

meer via het Spui en de Dordtsche Kil van uit het noorden te worden aangedreven. De dempende werking van de zuidrand op de getijvoortplanting in het NDB verdwijnt; de getijbeweging aan de noordrand neemt toe, zie ook [4].

De verdeling van de rivierafvoer over de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet verandert. Ook bij lage rivierafvoeren stroomt het rivierwater nu via twee takken af naar zee. De kleinere rivierafvoer via de Nieuwe Waterweg leidt tot een toename van de zoutindringing. Een gedeelte van deze toename van de zoutindringing wordt gecompenseerd door de extra menging als gevolg van de toegenomen horizontale getijbeweging. De situatie van voor de afsluiting van het Haringvliet maar na de afsluiting van het Volkerak wordt voor een groot gedeelte hersteld.

Een eerste schatting van de zoutindringing langs de noordrand voor het geval dat de Haringvlietsluizen permanent zijn geopend kan worden ontleend aan metingen verricht in de periode tussen de sluiting van het Volkerak (28-4-1969) en het in gebruiknemen van de Haringvlietsluizen (2-11-1970). Figuur 6 ([9]) toont voor zowel HW - als LW stroomketering de gemiddelde longitudinale gradienten van het zoutgehalte op een diepte van NAP - 2,5 m, bij afvoeren rond 1000 en 1500 m³/s bepaald. Uit de vergelijking van T_1 (28/4/1969 - 2/11/1970) met T_D (> 2/11/1970) blijkt dat het permanent openen van de Haringvlietsluizen zowel op de Nieuwe Maas als op de Oude Maas leidt tot een toename van de zoutindringing. De voor de zoutindringing langs de noordrand belangrijkste verschillen tussen deze periode (28/4/1969 - 2/11/1970) en het onderzoeksgeval Haringvlietsluizen 100% open zijn:

- de Rijnkanalisatie, welke tegelijk met de Haringvlietsluizen in gebruik werd genomen. Deze beïnvloedt de verdeling van de rivierafvoer over de Nieuwe Maas en de Oude Maas.
- Veranderingen in de bodemligging als gevolg van morfologische processen dan wel als gevolg van een kunstmatige ingreep.

De belangrijkste verandering is de "trapjeslijn" in de Nieuwe Maas; deze in de jaren zeventig voltooide kunstmatige verontdieping is aangelegd om de zoutindringing langs de Nieuwe Maas te beperken.

Een eerste schatting van de zoutindringing langs de zuidrand kan eveneens worden ontleend aan [9]. Figuur 7 toont de zoutindringing voor de uitvoering van de Deltawerken. De voor de zoutindringing langs de zuidrand, belangrijkste

verschillen tussen die situatie en het onderzoeksgeval Haringvlietsluizen 100% open zijn:

- De afsluiting van het Volkerak, hierdoor verdwijnt het Volkerak als zoutbron, en neemt op het Hollandsch Diep de horizontale getijbeweging af. Beide leiden met name bovenstrooms tot een afname van het zoutgehalte, zie ter illustratie fig. 8 ([9]).

- De aanleg van de Haringvlietsluizen, met als gevolg:

a) Een verkleining van het doorstroomprofiel aan de monding van het Haringvliet. Hierdoor neemt de horizontale getijbeweging op het Haringvliet/Hollandsch Diep af. Afhankelijk van de gelaagdheidssituatie leidt deze afname van de horizontale getijbeweging tot een toe- dan wel afname van de zoutindringing.

b) Een locale invloed van de Haringvlietsluizen op de inhomogene waterbeweging. Om deze locale invloed te bepalen worden de Haringvlietsluizen als een lange overlaat beschouwd. Een drietal eigenschappen zijn van belang:

1) Plaatselijke verkleining van het dwarsprofiel (zie fig. 9).

De Haringvlietsluizen vormen een obstakel voor de afwisselend in- en uitstromende inhomogene vloeistofstroom.

Bij stroming van doorsnede 0 naar 1 wordt de vloeistof versneld; potentiële energie wordt omgezet in kinetische energie. Bij stroming van doorsnede 1 naar 2 wordt de vloeistof vertraagd: kinetische energie wordt omgezet in warmte. Dit gaat gepaard met grote turbulentie. Een eventueel aanwezige gelaagdheid wordt hierdoor verminderd dan wel opgeheven (menging door vertraging)

Om dit mechanisme iets beter af te schatten worden de volgende grootheden met elkaar vergeleken:

- Het vermogen dat bij stroming door de Haringvlietsluizen wordt gedissipeerd:

$$P_D = \rho g \bar{Q} \cdot \Delta \bar{H}$$

- Het vermogen dat nodig is om een eventuele, boven de overlaat, aanwezige gelaagde vertikaal volledig op te mengen:

$$P_M = B \bar{u} E_M = B \bar{u} \cdot 1/8 (\Delta\rho) g \bar{d}^2$$

waarin:

\bar{Q}	= debiet, gemiddeld over een vloedperiode	[m ³ /s]
$\bar{\Delta H}$	= waterstandsverschil, gemiddeld over een vloedperiode	[m]
B	= stroomvoerende breedte	[m]
\bar{u}	= stroomsnelheid boven de overlaat, gemiddeld over een vloedperiode	[m/s]
E_M	= energie benodigd om een mootje water van $\bar{d} \cdot 1 \cdot 1$ m ³ volledig op te mengen	[N/m]
\bar{d}	= waterdiepte boven de overlaat, gemiddeld over een vloedperiode	[m]

E_M is afgeleid in bijlage 1.

In par. 5.2 worden met behulp van de waterbewegingsgegevens voor de situatie Haringvlietsluizen "open" P_D en P_M verder uitgewerkt en met elkaar vergeleken.

2) Optreden intern superkritische stroming.

Boven de overlaat kan de stroomsnelheid zodanig oplopen dat er sprake is van een intern superkritische stroming [10]. Kenmerk hiervan is dat het intern Froude getal Fr_i groter is dan één:

$$Fr_i = \frac{u}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} g d}} > 1$$

$$u > \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} g d} = 1,2 \text{ m/s (kies } d = 5,5 \text{ m)}$$

Uitgaande van een homogene dichtheid boven de overlaat ontstaan de in fig. 10 getekende stroombeelden.

eb

Het belangrijkste van dit geval is dat zolang $u_{eb} > 1,2$ m/s er geen instroming van zeewater plaats kan vinden.

Figuur 11 toont het verloop van de dichtheid bij Hoek van Holland. Reeds ver voor LWSK loopt de dichtheid van de bodemposities en daarmee de vertikaal gemiddelde dichtheid op. Door de aanwezigheid van de Haringvlietsluizen als "obstakel" wordt dit effect aan de zuidrand voor een groot gedeelte teniet gedaan. Pas vlak voor of tijdens LWSK (afhankelijk van du/dt rond LWSK) kan zout water vanuit zee het Haringvliet binnendringen.

vloed

Tijdens vloed stroomt zwaarder zeewater uit over het water in het Haringvliet. Na het passeren van de overlaat zakt het zwaardere water naar de bodem en sleurt hierbij lichter water mee. Het oorspronkelijk dichtheidsverschil ($\rho_0 - \rho_1$) neemt hierdoor af [18].

In par. 5.2 wordt met behulp van de waterbewegingsgegevens gecontroleerd of de stroomsnelheden boven de overlaat de 1,2 m/s overschrijden.

3) Drempelwerking (zie figuur 12).

Mits aan bepaalde voorwaarden is voldaan kapt de plotselinge bodemsprong de stroming in de onderste lagen af.

Wanneer sprake is van een flinke gelaagdheid wordt op deze manier een hoeveelheid zout afgevangen. Kwantitatief zijn hier moeilijk uitspraken over te doen. Essentieel voor dit mechanisme zijn lage stroomsnelheden (rond kentering), de gelaagdheid, en de ligging van het grensvlak. Ligt het grensvlak boven de drempel dan treedt er weinig of geen afvang van zout op.

Voor de gevallen Haringvlietsluizen "open" heeft het onderzoek een oriënterend karakter. Dit geldt met name voor de zoutindringing langs de zuidrand. De volgende onderzoeksvragen betreffende de zoutindringing langs de zuidrand zijn echter wel van belang:

- Hoe vindt zoutindringing in het Haringvliet/Hollandsch Diep plaats?
- Bij welke combinatie(s) van randvoorwaarden verzilten het Spui (zoetwaterinlaat Bernisse), de Volkeraksluizen (zoetwaterinlaat Zoommeer) en de Dordtsche Kil?
- Kunnen op basis van de resultaten van dit afstudeerproject dusdanige uitspraken over de zoutindringing langs de zuidrand worden gedaan, dat de andere onderdelen van het onderzoek "Manipulaties Haringvlietsluizen" hier een eerste schatting van de effecten van het permanent openen van de Haringvlietsluizen uit af kunnen leiden?

Haringvlietsluizen "50% open"

Als variant op "100% open" wordt bij dit onderzoeksgeval slechts een "geknepen" getij toegelaten aan de zuidrand. Doel hiervan is de veranderingen ten opzichte van de huidige situatie als gevolg van het permanent openen van de Haringvlietsluizen beter te kunnen verklaren.

Specifieke onderzoeksvragen bij dit onderzoeksgeval zijn:

- Wat is de invloed van een variatie van het doorstroomprofiel aan de monding van het Haringvliet op de getijbeweging aan de zuidrand?
- In hoeverre wordt de getijvoortplanting in de rest van het NDB hier door beïnvloed?
- Wat zijn effecten van een "geknepen" getij aan de zuidrand op de zoutindringing zowel langs de noordrand als langs de zuidrand?

3 Onderzoeksaanpak

3.1. Randvoorwaarden

Bij de keuze van de randvoorwaarden (getij + middenstand op zee en rivierafvoer) zijn de volgende punten van belang:

- 1) Het onderzoek heeft een oriënterend karakter. Van belang zijn in dit geval kenmerkende omstandigheden. Extreem omstandigheden zijn bij dit onderzoek niet van belang.
- 2) Het onderzoek dient aan te sluiten bij eerder verricht onderzoek. Daartoe wordt gebruik gemaakt van de, in het cluster "Gevoeligheidsonderzoek randvoorwaarden" [7] gedefinieerde, sets referentierandvoorwaarden.
- 3) De randvoorwaarden dienen representatief te zijn voor de andere onderdelen van het onderzoek "Manipulaties Haringvlietsluizen": de morfologie, de ecologie en de waterkwaliteit.

Op basis hiervan zijn de volgende randvoorwaarden gekozen:

- getij + middenstand op zee:

Meireeks 1979, deze is gedefiniëerd bij Hoek van Holland en het Zeegat van Goeree [11]. Om de invloed van een middenstandsverhoging t.g.v. wind te onderzoeken, wordt een middenstandsopzet (0,5 m, 50 uur) tijdens springtij toegepast (zie fig. 13 en 14)

- rivierafvoer

Figuur 15 toont de afvoerduurlijnen van de Bovenrijn. Op basis hiervan zijn de volgende rivierafvoeren gekozen:

$Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ (gem. 305 dagen per jaar onderschreden).

Deze afvoer is gelijk aan de "beddingvormende rivierafvoer" (zie hoofdstuk 3 van de oorspronkelijke rapportage van "Manipulaties Haringvlietsluizen") en wordt in dit onderzoek representatief geacht voor een hoge rivierafvoer.

$Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ (gem. 135 dagen per jaar onderschreden).

Bij het huidige spuiregime is dit de hoogste afvoer waarbij niet wordt gespuid via de Haringvlietsluizen.

$Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ (gem. 30 dagen per jaar onderschreden).

Deze afvoer, een referentie geval uit het systeemonderzoek, is vanuit het verziltingsonderzoek interessant. Bij het huidige spuiregime van de Haringvlietsluizen reikt bij deze afvoer het zout langs de Nieuwe Maas tot aan de van Brienoordbrug en langs de Oude Maas tot Beerenplaat.

De bij deze Bovenrijnafvoeren behorende afvoeren van de Lek, Waal en de 50% Maasafvoer zijn gepresenteerd in tabel 1.

3.2 Onderzoeksmiddelen

Bij het onderzoek naar de inhomogene waterbeweging zijn de volgende operationeel beschikbare onderzoeksmiddelen gebruikt:

ZWENDL: één-dimensionaal wiskundig netwerkmodel waarin de water- en zoutbeweging in het NDB als functie van tijd en plaats worden berekend [12].

(Het zoutbewegingsgedeelte van ZWENDL is niet operationeel beschikbaar en is daarom niet toegepast).

Waterstanden, debieten en watersnelheden zijn aan ZWENDL ontleend.

Getijmodel Rijnmond: vertrokken hydraulisch model ($n_h = 640$ $n_v = 64$) van het NDB, waarin de zoutindringing kan worden gesimuleerd, fig. 16 [1].

De longitudinale en verticale zoutverdelingen zijn aan het Getijmodel ontleend. Daarnaast zijn bij een aantal proeven snelheidsmetingen verricht.

In het Getijmodel heeft de modelrand aan de monding van het Haringvliet geen modelzee. Het model is daar debiet-gestuurd. Bij de onderzoeksgevallen waarbij via de Haringvlietsluizen water wordt gespuid danwel de Haringvlietsluizen permanent zijn geopend worden de debieten aan berekeningen met ZWENDL ontleend.

Bij de gevallen Haringvlietsluizen "open" dringt ook zout via de zuidrand het NDB binnen. Om dit in het Getijmodel te kunnen simuleren is de bestaande debietinstallatie uitgebreid. Vanuit de drukleiding van de modelzee is een

pijp aangelegd waarmee tijdens vloed zout water naar het Haringvliet kan worden gepompt.

ZWENDL en het getijmodel Rijnmond worden bij de gevallen Haringvlietsluizen "open" op een andere wijze, dan oorspronkelijk voorzien, gebruikt. Hierdoor zijn beide modellen niet geijkt voor deze situatie. De specifieke problemen die zich in ZWENDL en het Getijmodel hierbij voordoen, worden hieronder besproken.

ZWENDL

De zeerandvoorwaarden

De zeerandvoorwaarden (getij + middenstand) worden in ZWENDL op twee plaatsen opgelegd: Hoek van Holland en Zeegat van Goeree.

De middenstand bij Hoek van Holland is o.a. afhankelijk van de rivierafvoer. (zie: invloed opperwater, hoogtecorrectie [13]). In de onderzoekspraktijk echter wordt de middenstand onafhankelijk van de rivierafvoer opgelegd. Voor de onderzoeksgevallen waarbij de Haringvlietsluizen zijn gesloten danwel via de Haringvlietsluizen wordt gespuid, beïnvloedt dit de verdeling van de rivierafvoer niet. Voor de gevallen met Haringvlietsluizen "open" is de berekende verdeling van de rivierafvoer over de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen direct afhankelijk van het middenstandsverschil tussen Hoek van Holland en Zeegat van Goeree. Het juiste middenstandsverschil als functie van de rivierafvoer is echter niet precies bekend. Uit een onderzoek naar de gevoeligheid van de verdeling van de rivierafvoer voor een variatie in middenstandsverschil tussen Hoek van Holland en Zeegat van Goeree blijkt dat een verandering van $\Delta h = 0,01$ m overeenkomt met $\Delta Q = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ in de Nieuwe Waterweg. De gewenste nauwkeurigheid in de verdeling van de rivierafvoer, en daarmee in het middenstandsverschil, wordt bepaald door de modeleigenschappen van het Getijmodel. (De met ZWENDL berekende debieten worden gebruikt om de modelrand van het Getijmodel aan de monding van het Haringvliet te sturen). Een variatie van $\Delta Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ geeft een in het Getijmodel waarneembare variatie in de zoutverdeling. Een schatting van het middenstandsverschil met een nauwkeurigheid van orde 1 centimeter is daarom gewenst.

In dit onderzoek is verondersteld dat onder gemiddelde omstandigheden ($Q_{br} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$) het middenstandsverschil 0,08 m bedraagt, (Hoek van Holland: NAP + 0,02 m, Zeegat van Goeree NAP - 0,06 m). Voor andere bovenafvoeren is op basis van [13] een hoogte-correctie toegepast, zodat de middenstanden voor de gevallen met Haringvlietsluizen "open" worden:

Qbr [m ³ /s]	Hoek van Holland [m t.o.v. NAP]	Zeegat van Goeree [m t.o.v. NAP]
1100	- 0,04	- 0,06
1700	- 0,01	- 0,06
3000	+ 0,02	- 0,06

Ruwheid in ZWENDL

In 1-D wiskundige modellen wordt de ruwheidsterm als ijkparameter gebruikt. ZWENDL is voor wat betreft de waterbeweging geijkt op een periode uit september 1979 (dus "huidige spuiregime"). Op het Haringvliet/Hollandsch Diep is in dat geval sprake van lage stroomsnelheden, waardoor de waterbeweging vrij ongevoelig is voor een variatie van de ruwheid in dat gebied. De ruwheid aan de zuidrand is om die reden niet afgeregeld.

In de situatie met Haringvlietsluizen "open" ontstaan wel hoge snelheden aan de zuidrand, de ruwheid is dan wel van belang. De juiste waarde is echter onbekend. De gevoeligheid van de waterbeweging voor een variatie van de ruwheid op het Haringvliet/Hollandsch Diep is onderzocht. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in bijlage 2.

De belangrijkste conclusies zijn:

- De verdeling van de rivierafvoer en de middenstanden in het NDB zijn vrij ongevoelig voor een variatie van de ruwheid op het Haringvliet/Hollandsch Diep.
- De horizontale getijbeweging langs de zuidrand varieert sterk met een variatie van de ruwheid ($\Delta k = 10^*$, $\Delta \hat{Q}_{M2}^{HVSL} = 10\%$), de horizontale getijbeweging aan de noordrand is vrijwel ongevoelig voor deze variatie ($\Delta k = 10$,

* In ZWENDL is toegepast: $C = k \sqrt[6]{R}$

$\hat{\Delta Q}_{M2}^{HvH} = 3\%$). Het zelfde geldt voor de verticale getijbeweging.

Zout in het Haringvliet/Hollandsch Diep

De waterbeweging in een estuarium wordt beïnvloed door het dichtheidsverschil tussen zoet en zout water (zie par. 2.1). Voor een juiste berekening van de waterbeweging bij de gevallen met Haringvlietsluizen "open" zou de zoutindringing langs de zuidrand bekend moeten zijn (bijvoorbeeld middels de toe te passen dispersie-coëfficiënten).

Om een indruk te krijgen van de gevoeligheid van de waterbeweging voor een variatie van de zoutindringing langs de zuidrand, zijn een viertal berekeningen uitgevoerd waarbij de dispersie-coëfficiënt, en daarmee de zoutindringing, langs de zuidrand is gevarieerd.

De resultaten van deze berekeningen tonen aan dat de middenstanden nauwelijks worden beïnvloed door een variatie van de zoutindringing (verschillen $< 0,02$ m). Hetzelfde geldt voor de verticale getijamplitude. De verdeling van de rivierafvoer over de Haringvlietsluizen en de Nieuwe Waterweg varieert maximaal met $50 \text{ m}^3/\text{s}$. De rivierafvoer via de Dordtsche Kil varieert met deze waarde op andere takken zijn de verschillen kleiner. De variaties in de horizontale getijamplitude blijven beperkt tot enkele procenten.

Getijmodel Rijnmond

Bij het ontwerp van het Getijmodel Rijnmond heeft men destijds twee gebieden onderscheiden:

1. Het onderzoeksgebied:

De riviertakken waar redelijker wijze zoutindringing mag worden verwacht. In dit gebied, dat zich globaal uitstrekt van de monding van de Nieuwe Waterweg tot de riviertakken rondom de drie "eilanden" (Eiland van Dordrecht, IJsselmonde en de Hoekse Waard) wordt een optimale reproductie van de waterbeweging en zoutverdeling nagestreefd.

2. Het randvoorwaardengebied:

De modelzee, de bovenstroomse riviertakken en het Haringvliet/Hollandsch Diep bekken.

Deze gebieden hebben als functie de juiste randvoorwaarden voor het onderzoeksgebied te scheppen n.l.: de verticale en de horizontale waterbeweging, en een korrekkt zoutaanbod (modelzee).

Hoe in detail de stroming en zoutverdeling in het randvoorwaardengebied worden gereproduceerd is niet van primair belang, mits de functie van de randvoorwaarden-voorziening goed wordt vervuld.

Een en ander betekent konkreet dat Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Oude Maas, Noord, Dordtsche Kil, Beneden Merwede en ook Nieuwe Merwede (weliswaar vertrokken) geometrisch gelijkvormig zijn met het prototype. Lek, Waal, Maas en Haringvliet/Hollandsch Diep liggen ter ruimtebesparing in opgevouwen vorm in het model, waardoor de loop van het Spui is veranderd om de verbinding tussen het Haringvliet en de Oude Maas mogelijk te maken. Dezelfde overwegingen hebben ertoe geleid dat de aantakking van de Hollandsche IJssel aan de Nieuwe Maas enigszins is aangepast, zie ter illustratie figuur 16 en 17.

Bij het onderzoek "Manipulaties Haringvlietsluizen" is het onderzoeksgebied met een gedeelte van het randvoorwaardengebied uitgebreid. Bij de gevallen met Haringvlietsluizen "open" treedt nu ook zoutindringing in het Haringvliet/Hollandsch Diep op. Een dergelijke uitbreiding van het onderzoeksgebied kan niet "ongestraft" geschieden. De volgende aspecten verdienen bijzondere aandacht.

Turbulentie weergave

Een van de redenen om het Haringvliet/Hollandsch Diep destijds niet in het onderzoeksgebied op te nemen was dat door de gekozen schalen het Reynolds getal daar zo laag wordt dat de, bij het huidig spuiregime, geringe getij- en afvoer-stromingen laminair worden weergegeven.

In de gevallen met Haringvlietsluizen "open" neemt de getijbeweging op het Haringvliet/Hollandsch Diep toe. Gecontroleerd dient te worden of de waterbeweging nu wel turbulent wordt weergegeven (zie par. 5.2). Daartoe is in [1] de eis gesteld dat onder modelomstandigheden het Reynoldsgetal minimaal van de orde 10.000 dient te zijn.

Geometrie

Zoals eerder aangegeven wijkt de geometrie van het Haringvliet/Hollandsch Diep in het Getijmodel af van de geometrie van het prototype. Voor de functie als "randvoorwaardenfabriek" is dit niet bezwaarlijk. Wordt het Haringvliet/Hollandsch Diep echter een onderdeel van het onderzoeksgebied dan worden de resultaten beïnvloed door deze afwijkingen in de geometrie.

1. Het Haringvliet/Hollandsch Diep is niet direct aangesloten op de modelzee. De Haringvlietsluizen zijn niet opgenomen in het model en zeewaarts ontbreekt een deel van het estuarium. In het prototype treedt reeds in dit gebied menging van zoet en zout water op. De Haringvlietsluizen hebben een "locale invloed" op de inhomogene waterbeweging (zie par. 2.4 en par. 5.2). De dichtheidsrandvoorwaarde aan de rivierzijde van de Haringvlietsluizen wordt hierdoor bepaald.

In het Getijmodel wordt de dichtheidsrandvoorwaarde aan de zuidrand gerealiseerd door tijdens vloed via een debietinstallatie zout water het model in te pompen.

Figuur 18 toont schematisch de modelrand aan de monding van het Haringvliet. De vloed- en ebdebieten worden via een uitstroombak aan het eind van het Haringvliet aan het model toegevoegd dan wel onttrokken; de laatste gedeelten van de eb- en vloedleidingen vallen samen. Tussen, het punt waar de eb- en vloedleidingen samenkomen en het eigenlijke model bevindt zich een "doodvolume" (uitstroombak + leiding = $\pm 5 \text{ m}^3$).

Als gevolg van deze konstruktie stroomt na LWSK eerst dit volume, al dan niet reeds opgemengd met zout water uit de drukleiding ($\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$), terug het model in. De menging van zout water uit de drukleiding en "brak" water uit het model wordt bevorderd door het labyrinth in de uitstroombak. In het Getijmodel wordt de dichtheidsrandvoorwaarde als gevolg hiervan door de volgende parameters bepaald.

- . verhouding doodvolume en vloedvolume
- . de mate van menging in de uitstroombak

Stel er vindt in de uitstroombak geen menging plaats

Ter bepaling van de gedachten kunnen er zich dan twee extreme situaties voordoen:

a) vloedvolume veel groter dan "doodvolume"

In dit geval bereikt na een korte periode (als het dood volume weer in het model is teruggestroomd) zuiver zeewater ($\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$) het model → dichtheidsrandvoorwaarde te "zout".

b) vloedvolume veel kleiner dan "doodvolume"

In dit geval bereikt het zoute water nooit het model → dichtheidsrandvoorwaarde te "zoet"

Menging in de uitstroombak zwakt beide extremen af.

Toetsing van de gerealiseerde dichtheidsrandvoorwaarde aan prototypewaarnemingen is niet mogelijk omdat geschikte prototypewaarnemingen voor de situatie Haringvlietsluizen "open" ontbreken.

Door een vergelijking van de vloedvolumina met het "doodvolume" en vergelijking van de gerealiseerde dichtheidsrandvoorwaarde met bijvoorbeeld Hoek van Holland, dient een uitspraak over de realiteitswaarde van de dichtheidsrandvoorwaarde aan de zuidrand worden gedaan.

2. Het Haringvliet/Hollandsch Diep ligt ter ruimtebesparing opgevouwen in het model. De bochten die hierdoor in het model zijn ontstaan beïnvloeden de snelheidsverdeling en daarmee de zoutindringing [14].

De bochtstroming heeft een ongewenste menging in de dwarsrichting tot gevolg. Daarnaast wordt als gevolg van de bochten de zoutindringing asymmetrisch. Dit is als volgt te verklaren.

Uit de formule van Strickler blijkt:

$$u = h^{2/3} * i^{1/2} \quad i = \text{verhang } [/\]$$

Het advectief zouttransport is evenredig met de stroomsnelheid.

In de binnenbocht is het verhang groter dan in de buitenbocht. Daarnaast is in het model de diepte in de binnenbocht groter dan in de buitenbocht. Hierdoor zijn de stroomsnelheden in de binnenbocht hoger en is daarmee het zouttransport groter. De zoutindringing wordt asymmetrisch.

3. Een gedeelte van het Haringvliet/Hollandsch Diep (vanaf Stad a/h Haringvliet t/m Volkerak) is gespiegeld in het model. Gevolg hiervan is dat bepaalde geulen niet meer juist op elkaar aansluiten. Het effect van de bocht bij Middelharnis wordt nog versterkt doordat door de spiegeling juist een dieper gedeelte aansluit op de binnenbocht.

Plaatsing ruwheidselementen in het Haringvliet/Hollandsch Diep

Om de (inhomogene) waterbeweging in een vertrokken model juist weer te geven dient de ruwheid te worden vergroot. De extra ruwheid wordt aangebracht in de vorm van ruwheidselementen (kruisjes). De ruwheidselementen zorgen eveneens voor de compensatie van de schaaleffekten in de turbulente diffusie [1] [15]. Zoals reeds eerder uiteengezet behoort het Haringvliet/Hollandsch Diep bekken niet tot het oorspronkelijk "onderzoeksgebied" van het Getijmodel. Het Getijmodel is ingeregeld, geijkt en geverifiëerd met een zoet Haringvliet; hoe in detail de stroming daar wordt weergegeven is niet van belang [16]. De plaatsing van ruwheidselementen in dit gebied is gebaseerd op een eerste schatting.

Bij de gevallen met Haringvlietsluizen "open" is de plaatsing van ruwheidselementen wel van belang:

1. De ruwheid bepaalt mede de getijvoortplanting in het model. De verwachting is dat de getijvoortplanting minder gevoelig is voor variatie in ruwheid, daar de getijbeweging in het Getijmodel opgelegd wordt door de debietrand.
2. De ruwheidselementen veroorzaken menging van zoet en zout water.

Afhankelijk van de uiteindelijke verziltingssituatie van het Haringvliet/Hollandsch Diep (gelaagd/gemengd) zijn de resultaten van de getijmodelproeven gevoelig voor een variatie van het aantal ruwheidselementen. In par. 5.2 wordt hierop teruggekomen.

3.3 Onderzoeksprogramma

De uit te voeren berekeningen/proeven vallen in vier groepen uiteen:

I "Huidige situatie".

Dit zijn de referentie gevallen waarbij het huidig spuiregime wordt gehanteerd.

Proef A: meireeks, $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$

Proef B: meireeks, $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$

Proef K: meireeks, $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$, "normaal spuien"

Proef I: meireeks+ middenstandsverhoging, $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$.

II "Spuimanipulaties"

Spuien bij $Q_{br} < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$

Proef C: meireeks, $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$, getijgemiddeld $485 \text{ m}^3/\text{s}$ spuien

Proef D: meireeks, $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$, getijgemiddeld $485 \text{ m}^3/\text{s}$ spuien

Proef E: meireeks, $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$, getijgemiddeld $1105 \text{ m}^3/\text{s}$ spuien

Proef C en E zijn zodanig opgezet dat zij qua rivierafvoer via de Nieuwe Waterweg ($410 \text{ m}^3/\text{s}$) overeenkomen met een onderzoeksgeval uit "lozingen en onttrekkingen deel" I [8] (zie par. 2.4 en par. 5.1):

proef R: meireeks, $Q_{br} = 800 \text{ m}^3/\text{s}$, Volkerak onttrekking $50 + 220 \text{ m}^3/\text{s}$

Haringvlietsluizen gesloten bij $Q_{br} > 1700 \text{ m}^3/\text{s}$

Proef L: meireeks, $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$, Haringvlietsluizen dichthouden.

III Haringvlietsluizen "open": 100 %

Proef F: meireeks, $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$

Proef G: meireeks, $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$

Proef M: meireeks, $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$

Proef J: meireeks + middenstandsverhoging, $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$

IV Haringvlietsluizen "open": 50%

Proef /: meireeks, $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ (alleen met ZWENDL)

Proef H: meireeks, $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$

Proef N: meireeks, $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$

Alle berekeningen/proeven worden conform [7] uitgevoerd met de standaardont-

trekkingen: Gouda $30 \text{ m}^3/\text{s}$

Volkerak $50 \text{ m}^3/\text{s}$

Zie ter illustratie tabel 2.

De in het Getijmodel Rijnmond gehanteerde meetopstelling is beschreven in bijlage 3.

4 Resultaten

4.1 Inleiding

De resultaten van de ZWENDL-berekeningen en de proeven in het Getijmodel Rijnmond zijn samengevat in de tabellen 3 t/m 11. Voor de in figuur 19a aangegeven punten zijn in de tabellen 3 t/m 5 de middenstand, de tweemaaldaagse en de viermaaldaagse component van de verticale waterbeweging gepresenteerd.

Voor de in figuur 19b aangegeven punten zijn in de tabellen 6 t/m 8 dezelfde componenten van de horizontale waterbeweging gepresenteerd.

Als aanvulling op deze tabellen is in figuur 20 t/m 22 voor alle proeven de bijbehorende verdeling van de rivierafvoer getekend.

In tabel 9 zijn voor alle zoutmeetpunten langs de noordrand, voor de proeven zonder middenstandsverhoging, de verziltingsoppervlakken* opgenomen.

In tabel 10 en 11 zijn de maximum, gemiddelde en minimum chloride gehalten voor alle zoutmeetpunten langs de zuidrand voor de proeven met "Haringvliet-sluizen open" opgenomen.

In deze paragraaf wordt volstaan met een beschrijving van de resultaten van de berekeningen en proeven en eventuele bijzonderheden die bij de uitvoering zijn opgetreden. De interpretatie van de berekeningen en proeven wordt in hfdst. 5 gegeven.

* Verziltingsoppervlak $[\text{mg Cl}^-/\text{l}] = (\bar{\rho} - \rho_0) * 715$

$\bar{\rho}$ = gemeten dichtheid, vertikaal gemiddeld en tijdsgemiddeld over de laatste 14 dagen van de meireeks $[\text{kg}/\text{m}^3]$

ρ_0 = dichtheid zoete rivierwater $[\text{kg}/\text{m}^3]$

4.2 Spuimanipulaties

Spuien bij $Q_{br} < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$: proef C, D en E*

Het belangrijkste gevolg van het spuien via de Haringvlietsluizen is de veranderde verdeling van de rivierafvoer in het NDB (fig. 20 en 21). De rivierafvoer via het Spui en de Dordtsche Kil neemt af; bij proef E verandert de rivierafvoer via de Dordtsche Kil van richting en voert het water nu zuidwaarts af.

De middenstanden gaan overal omlaag (tabel 3 en 4): het rivierwater wordt niet meer door de gesloten Haringvlietsluizen richting Nieuwe Waterweg gestuwd maar kan ook via het Haringvliet afstromen naar zee. De getijbeweging (vertikaal en horizontaal) op de benedenstroomse inhomogene takken verandert nauwelijks (tabel 6 en 7). De getijbeweging op de bovenstroomse takken aan de zuidrand wordt door het spuien via de Haringvlietsluizen beïnvloed, zie onderstaande tabel.

Amplitude dubbeldaagse component (M2)							
vertikaal getij [m]				horizontaal getij [m^3/s]			
Proef →	B	D	E	Proef →	B	D	E
Werkendam	0,13	0,17	0,22	Beneden Merwede	540	585	640
Dordecht	0,27	0,29	0,32	Nieuwe Merwede	135	165	215
Moerdijk	0,10	0,12	0,15	Hollandsch Diep	410	550	710
Zuidrand	0,14	0,16	0,19				

Het spuien via de Haringvlietsluizen leidt tot een toename van de zoutindringing; zie onderstaande tabel.

* proef A: $Q_{br} = 1100$, referentie
 proef C: $Q_{br} = 1100$, $485 \text{ m}^3/\text{s}$ spuien
 proef B: $Q_{br} = 1700$, referentie
 proef D: $Q_{br} = 1700$, $485 \text{ m}^3/\text{s}$ spuien
 proef E: $Q_{br} = 1700$, $1105 \text{ m}^3/\text{s}$ spuien

Toename verzilting ten opzichte van referentie [mg Cl ⁻ /l]			
Proef	C (t.o.v. A)	D (t.o.v. B)	E (t.o.v. B)
Hoek van Holland	500	750	2050
Maassluis	1650	2250	4400
Quarantaine St.	2700	2600	5750
Van Brienoordbrug	1900	50	1150
Spijkenisse	3650	1350	6000
Beerenplaat	2750	250	4100

Bij proef D reikt het zout in de Nieuwe Maas tot de van Brienoordbrug en in de Oude Maas tot Beerenplaat. Bij proef C en E verzilten het Spui en de monding van de Hollandsche IJssel. Bij proef E bereikt het zout via het Spui het Haringvliet. Zie ter illustratie fig. 23 en 24.

Haringvlietsluizen gesloten bij $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$: proef L*

Het gesloten houden van de Haringvlietsluizen beïnvloedt op de eerste plaats de verdeling van de rivierafvoer (fig. 22). Al het rivierwater wordt richting Nieuwe Waterweg gestuwd. De middenstanden nemen in het gehele bekken toe. Aan de zuidrand is deze toename het grootst, ruim 0,5 m.

Het gesloten houden van de Haringvlietsluizen bij $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ dempt de getijvoortplanting in het NDB; behalve bij Vlaardingen en Spijkenisse neemt de verticale getijbeweging ($\hat{A}M2$) overal af. De horizontale getijbeweging ($\hat{Q}M2$) neemt op alle takken af, zie tabel 5 en 8.

Ten opzichte van het referentiegeval K wordt door het gesloten houden van de Haringvlietsluizen de zoutindringing ± 6 km teruggedrongen, fig. 25; de zoutindringing blijft beperkt tot de Nieuwe Waterweg.

Figuur 26 en 27 tonen de tijdfuncties van de vertikaal gemiddelde dichtheden op de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas bij Nieuwe Matex.

* proef K: $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$, referentie
 proef L: $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$, Haringvlietsluizen dicht

Tijdens springtij reikt het zout voorbij de Nieuwe Waterweg 1015 (meest bovenstroomse punt waar zout is gemeten): de monding van de Botlekhaven verzilt. Tijdens doottij is dit afhankelijk van de dagelijkse ongelijkheid, het zout bereikt slechts eenmaal per dag de Botlekhaven.

Tijdens eb is de Nieuwe Waterweg voor het grootste gedeelte zoet.

In figuur 28 t/m 33 zijn voor zowel spring- als doottij omstandigheden, voor een aantal kenmerkende tijdstippen, de dichtheidsvertikalen en snelheidsvertikalen van proef K en L met elkaar vergeleken.

De gelaagdheid blijkt sterk toe te nemen. Tijdens springtij 05-16 0.200 is het zout tot voorbij Hoek van Holland teruggedrongen, de Nieuwe Waterweg is helemaal zoet. Bij de HWSK 05-22 0.00-0.200 tijdens doottij bereikt het zout WAVE 1015 niet, de monding van de Botlekhaven verzilt niet.

Tijdens eb, wanneer de Nieuwe Waterweg voor het grootste gedeelte zoet is, wordt de snelheidsverdeling niet meer beïnvloed door dichtheidsverschillen. De stroomsnelheden, ook nabij de bodem, nemen toe.

4.3 Haringvlietsluizen 100% open: proef F, G, M en J

Waterbeweging

Ten opzichte van de huidige situatie neemt door het permanent openen van de Haringvlietsluizen in het hele NDB de verticale getijbeweging toe (tabel 3 t/m 5). Figuur 34 t/m 37 geven een beeld van de voortplanting van het verticale getij in het NDB, zowel met de Haringvlietsluizen 100% open als voor het huidig spuiregime.

De grootste veranderingen treden langs de zuidrand op. De getijbeweging hoeft niet meer van uit het noorden te worden aangedreven, maar er loopt een getijgolf via de Haringvlietsluizen het Haringvliet in en uit. Aan de rivierzijde van de Haringvlietsluizen is de verticale getijamplitude 0,57 m en deze slingerd op tot 0,71 m bij Moerdijk.

De demping van het verticale getij langs de Oude Maas (zie par. 2.3) is zo goed als verdwenen (AM2 Vlaardingen = 0,76 m, AM2 Zwijndrecht = 0,71 m).

Door het openen van de Haringvlietsluizen neemt op alle takken behalve het Spui, de Dordtsche Kil, de Noord en de Oude Maas bij Beerenplaat, de horizontale getijbeweging toe. Naast veranderingen in amplitude treden ook veran-

deringen van de fasen op (tabel 6 t/m 8). Figuur 38 t/m 43 geven een beeld van de gewijzigde horizontale waterbeweging.

Aan de monding van het Haringvliet bedraagt de amplitude van de tweemaaldaagse component van de horizontale getijbeweging $13.600 \text{ m}^3/\text{s}$ (\hat{Q}_{M2} Hoek van Holland = $7285 \text{ m}^3/\text{s}$).

Aan de noordrand is de toename van de horizontale getijbeweging:

	Huidig beheersregime $Q_{M2} [\text{m}^3/\text{s}]$	HVSL 100% open $Q_{M2} [\text{m}^3/\text{s}]$	toename in [%]
Hoek van Holland	5950	7285	22
Westgeul:			
- Nieuwe Waterweg	5290	6400	21
- Nieuwe Maas	3040	3630	21
- Oude Maas	2515	2760	10

Op het splitsingspunt Westgeul zijn de faseverschillen tussen de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas en de Oude Maas zo goed als verdwenen. De grootschalige mengende werking van het splitsingspunt op de inhomogene waterbeweging zal hierdoor veranderen (zie par. 2.3).

De viermaaldaagse component van het horizontale getij op het Spui is van dezelfde orde grootte als de tweemaaldaagse ($\hat{Q}_{M4} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$ $\hat{Q}_{M2} = 235 \text{ m}^3/\text{s}$). Dit in combinatie met de fasen van deze componenten geven het horizontale getij op het Spui een zodanig verloop, dat de drie takken bij het splitsingspunt Beerenplaat uit fase kenteren (zie par. 2.3).

In figuur 44 en 45 zijn voor zowel het huidig spuiregime als voor Haringvlietsluizen 100% open de maximale eb- en vloednelheden gepresenteerd (vergelijk eventueel met [4]).

De bovenafvoer (van Lek, Waal en Maas) stroomt via twee takken vrij af naar zee. Van de bovenafvoer stromen de volgende percentages respectievelijk via de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen af:

QBR	huidig spuiregime		Haringvlietsluizen 100% open	
	Q _{WAVE}	Q _{HVSL}	Q _{WAVE}	Q _{HVSL}
1100	94%	-	43%	53%
1700	96%	-	36%	61%
3000	49%	48%	35%	63%

(Door de onttrekkingen bij Gouda en Volkerak is de som van de rivierafvoeren door de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen ongelijk aan 100%.)

Bij hogere bovenafvoeren stroomt een relatief groter deel van de rivierafvoer via het Haringvliet af naar zee.

Bij de onderzoeksgevallen "Haringvlietsluizen open" is in de berekeningen met ZWENDL bij Hoek van Holland een andere middenstand opgedrukt dan bij de referentiegevallen (zie par. 3.2). De in tabel 3 t/m 5 gepresenteerde middenstanden zijn hierdoor niet direct vergelijkbaar.

In tabel 12 is om een vergelijking van de middenstanden bij Haringvlietsluizen "open" en de referentiegevallen mogelijk te maken het middenstandsverschil van een aantal meetpunten met Hoek van Holland bepaald.

Het blijkt dat door het permanent openen van de Haringvlietsluizen in het gehele bekken het middenstandsverschil met Hoek van Holland afneemt. Uitzondering hierop is de Boven Merwede (zie tabel 12 Werkendam) bij Qbr = 3000 m³/s.

Zoutindringing

Haringvlietsluizen 100% open, Qbr = 1100 m³/s : proef F

Ten opzichte van het referentiegeval (A) neemt de zoutindringing langs de noordrand toe, zie onderstaande tabel en figuur 46.

	Proef F	Proef A
Hoek van Holland	14000	13950
Maassluis	9300	9450
Quarantaine station	5150	3500
v. Brieneoordbrug	1050	100
Spijkenisse	4500	2000
Beerenplaat	1650	400

Verziltingsoppervlak [mg Cl⁻/l]

In de Nieuwe Maas reikt het zout tot de monding van de Hollandsche IJssel (max. = 600 mg Cl⁻/l), zie fig. 47. De verzilting bij Gouda valt binnen de instelnaauwkeurigheid van het model (50 mg Cl⁻/l). In de Oude Maas reikt het zout voorbij Splitsingspunt Beerenplaat. Richting Haringvliet neemt de dichtheid op het Spui weer toe; deze tak verzilt nu ook vanuit de zuidrand.

Figuur 48 t/m 51 tonen de voortschrijdend gemiddelde waarden van de dichtheid bij Hoek van Holland en de drie meetpunten rond het Splitsingspunt Westgeul.

Het permanent openen van de Haringvlietsluizen beïnvloedt de vertikaal gemiddelde dichtheid bij Hoek van Holland niet. Wel neemt de gelaagdheid af en verandert de springtij/doodtij variatie. Bij de andere meetpunten treden als gevolg van het permanent openen van de Haringvlietsluizen drie effecten op:

1. De dichtheid neemt toe.
2. De gelaagdheid neemt af.
3. De springtij/doodtij variatie in dichtheid neemt af.

In figuur 52 t/m 57 is voor een aantal meetpunten langs de zuidrand het verloop van de dichtheid gedurende 14,5 dag getekend. Het zout reikt tot voorbij Noordschans. Opvallend is:

1. De stijgende trend in de tijdfuncties: de zoutindringing is nog niet goed ingespeeld.
2. De asymmetrische zoutindringing. De dichtheid langs de noord (rechter)- en de zuid (linker)oever van het Haringvliet/Hollandsch Diep verschillen sterk.

Doordat de zoutindringing nog niet goed is ingespeeld, is de springtij/doodtij variatie in de dichtheid niet goed waarneembaar.

Figuur 58 t/m 61 tonen meer in detail het dichtheids verloop bij Haringvliet-monding, Slijkplaat, Aardappelgat en Middelharnis. Opvallend is het verloop van de dichtheid van de bodempositie bij Slijkplaat en Aardappelgat. Vergeleken met de bodempositie bij Haringvliet-monding hebben deze een vrijwel constante hoge waarde die slechts afneemt wanneer de dichtheid bij andere minder diep gelegen posities toeneemt.

Figuur 62 en 63 tonen de voortschrijdend gemiddelde waarden van de dichtheid bij Haringvliet-monding, Middelharnis en Stad a/h Haringvliet.

Het Haringvliet/Hollandsch Diep is gedeeltelijk gemengd/gelaagd.
De gelaagdheids situatie is onafhankelijk van de springtij/doodtij variatie.

Haringvlietsluizen 100% open, $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$: Proef G

Ten opzichte van het referentiegeval (B) neemt de zoutindringing langs de noordrand toe, zie onderstaande tabel en fig. 64.

	Proef G	Proef B
Hoek van Holland	13150	12200
Maassluis	8450	6600
Quarantaine station	3700	250
v. Brienoordbrug	300	-
Spijkenisse	3150	300
Beerenplaat	700	-

Verziltingsoppervlak [mgCl^-/l]

Langs de Nieuwe Maas reikt het zout tot van Brienoordbrug (max. = 1600 $\text{mg Cl}^-/\text{l}$), de Hollandsche IJssel verzilt niet, zie fig. 65. In de Oude Maas reikt het zout voorbij het Splitsingspunt Beerenplaat (max. = 3150 $\text{mg Cl}^-/\text{l}$), zie fig. 66. Op het Spui is sprake van een permanente verzilting (450-650 $\text{mg Cl}^-/\text{l}$), fig. 67.

In figuur 68 t/m 72 is voor een aantal meetpunten langs de zuidrand het verloop van de dichtheid gedurende 14,5 dag getekend. Het zout reikt tot Ventjagersgaatje. Bij proef G is de zoutindringing wel goed ingespeeld. Evenals bij proef F is bij proef G de zoutindringing asymmetrisch en hebben de bodemposities bij Slijkplaat en Aardappelgat een vrijwel constante hoge waarde.

Figuur 73 en 74 tonen de voortschrijdend gemiddelde waarden van de dichtheid bij Haringvliet-monding, Middelharnis en Stad a/h Haringvliet.

Tijdens doodtij neemt de zoutindringing op het Haringvliet/Hollandsch Diep af. T.o.v. proef F neemt de gelaagdheid bij Haringvliet monding toe (vergelijk fig. 62 en 63 met 73 en 74), dit geldt ook voor Middelharnis. Bij Stad a/h Haringvliet neemt t.o.v. proef F de gelaagdheid af.

Haringvlietsluizen 100% open, $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$: Proef M

De ZWENDL som waarmee proef M is aangestuurd bleek doorgerekend te zijn met een verkeerde zeerandvoorwaarde. Dit bleek echter pas na de uitvoering van de proef in het Getijmodel. De proef in het Getijmodel is niet meer overgedaan.

De ZWENDL som is, daarna met de juiste zeerandvoorwaarde, opnieuw doorgerekend. De gepresenteerde waterbewegingsgegevens zijn aan deze berekening ontleend.

De gevolgen voor de zoutindringing van het sturen van het Getijmodel met het "onjuiste" debiet worden besproken bij de interpretatie in par. 5.2.

Ten opzichte van het referentiegeval (K) neemt de zoutindringing in de Nieuwe Maas nauwelijks toe en in de Oude Maas zelfs iets af, zie onderstaande tabel en fig. 75.

	Proef M	Proef K
Hoek van Holland	11600	11850
Maassluis	5850	6350
Quarantaine station	350	100
v. Brienoordbrug	-	-
Spijkenisse	650	600
Beerenplaat	-	50

Verziltingsoppervlak [$\text{mg Cl}^-/\text{l}$]

Het Spui blijft zoet, zowel vanuit het noorden als vanuit het zuiden treedt er geen verzilting op.

In figuur 76 t/m 79 is voor een aantal meetpunten langs de zuidrand het verloop van de dichtheid gedurende 14,5 dag getekend. Het zout reikt aan de linkeroever tot het meetpunt "Vuilegat", aan de rechterover tot het meetpunt Stad a/h Haringvliet.

Hoewel meer zeewaarts gelegen, is de dichtheid bij Korendiep lager dan bij Stad a/h Haringvliet rechts (zie ook tabel 10).

Ook bij deze proef hebben de bodemposities bij Slijkplaat en Aardappelgat, een vrijwel constante hoge waarde.

Figuur 80 en 81 tonen de voortschrijdend gemiddelde waarden van de dichtheid bij Haringvliet-monding, Middelharnis en Stad a/h Haringvliet.

Tijdens doodtij neemt de zoutindringing op het Haringvliet/Hollandsch Diep af. Ten opzichte van de proeven met lagere afvoeren (F + G) neemt bij Haringvlietmond-
ding de gelaagdheid toe. Bij Middelharnis en Stad a/h Haringvliet neemt de gelaagdheid af. De gelaagdheid vertoont nauwelijks een springtij/doodtij variatie.

Haringvlietsluizen 100% open, $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$, middenstandsverhoging : Proef J

Om het effect van de middenstandsverhoging op de zoutindringing te bepalen worden de resultaten van proef J vergeleken met die van proef G.

In figuur 82 t/m 87 is voor een aantal meetpunten zowel langs de noord- als langs de zuidrand het dichtheidsverloop getekend.

De middenstandsverhoging leidt aan de noordrand niet tot een verzilting van de Hollandsche IJssel. Aan de zuidrand blijft het Haringvliet/Hollandsch Diep ter hoogte van het Volkerak zoet. De maximale verzilting tijdens springtij (tijdens de middenstandsverhoging) voor proef J en G is weergegeven in onderstaande tabel.

	Proef G HVSL 100% open $Q_{br}=1700 \text{ m}^3/\text{s}$	Proef J HVSL 100% open $Q_{br}=1700 \text{ m}^3/\text{s}$ middenstandsverhoging
Hoek van Holland	16400	16660
Maassluis	13800	14160
Quarantaine station	6000	6860
v. Brienoordbrug	1270	1650
Spijkenisse	6360	7865
Beerenplaat	2700	4150
Spui Beerenplaat	1240	2790
Spui Zuidland	570	830
Haringvliet-mond	16065	16730
Middelharnis	5075	6790
Korendiep	2315	3500
Stad a/h Haringvliet		
links opp.	3145	4505
links bodem	3495	5075
rechts opp.	2560	4360
rechts bodem	3295	5290
Den Bommel		
opp.	690	1190
bodem	830	1365
Vuilegat	1950	3200
Ventjagersgaatje		
links	625	1010

Maximale verzilting tijdens springtij in $[\text{mg Cl}^-/\text{l}]$

Als aanvulling op de metingen in het Getijmodel zijn in onderstaande tabellen voor een aantal meetpunten langs de zuidrand chloride gehalten gepresenteerd, ontleend aan prototypemetingen uit de periode april 1969 (sluiting Volkerak) - november 1970 (in gebruik name Haringvlietsluizen). De zoutwaarnemingen zijn tijdens hoog- en laagwater stroomkentering verricht nabij het wateroppervlak. Om een vergelijking met de metingen in het Getijmodel mogelijk te maken dienen de gepresenteerde waarden gecorrigeerd te worden met het chloride gehalte van de Bovenrijn te Lobith.

	Prototype				Model	
	eind okt. '69		jan. '70			
$Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$						
meetpunt	HWSK	LWSK	HWSK	LWSK	HWSK	LWSK
Moerdijk	250	250	100	100	450*	0
Rak Noord (Volkerak)	450	450	300	250	1800*	600*
Nieuwendijk (Vuile Gat)	450	450	350	300	4700*	2300*
Den Bommel	~ 500	~ 500	300	300	2500	900
Middelharnis	> 500	> 500	> 500	> 500	7200	2100
Hellevoetsluis	> 500	> 500	> 500	> 500	13000	3400
Haringvlietsluizen	> 500	> 500	?	?	16000	6100
Lobith	250		150		0	

* niet aan het oppervlak

N.B. Nieuwendijk en Den Bommel gespiegeld in model.

Q _{br} = 1700 m ³ /s	Prototype				Model	
	eind juli '69		20 okt. '70			
	HWSK	LWSK	HWSK	LWSK	HWSK	LWSK
Moerdijk	100	100	150	150	0*	0*
Rak Noord (Volkerak)	250	150	250	250	0*	0*
Nieuwendijk (Vuile Gat)	250	150	350	300	1700*	0*
Den Bommel	250	250	300	300	500	0
Middelharnis	250	250	400	400	3900	400
Hellevoetsluis	> 500	> 500	> 500	> 500	9700	1100
Haringvlietsluizen	> 500	> 500	> 500	> 500	13600	3000
Lobith	150		200		0	

* Niet aan het oppervlak

N.B. Nieuwendijk en Den Bommel gespiegeld in model.

Q _{br} = 3000 m ³ /s	Prototype				Model	
	juni/juli '69		10-20 juni '70			
meetpunt	HWSK	LWSK	HWSK	LWSK	HWSK	LWSK
Moerdijk	100	100	100	100	0	0
Rak Noord (Volkerak)	200	150	200	150	0*	0*
Nieuwendijk (Vuile Gat)	150	150	200	150	200*	0*
Den Bommel	250	250	200	200	0	0
Middelharnis	200	200	200	200	1200	0
Hellevoetsluis	≈ 400	≈ 300	> 500	> 500	5500	100
Haringvlietsluizen	≈ 500	400	> 500	> 500	10900	800
Lobith	150		120		0	

* niet aan het oppervlak

N.B. Nieuwendijk en Den Bommel gespiegeld in model

4.4 Haringvlietsluizen 50% open : Proef H en N

Waterbeweging

Ten opzichte van de huidige situatie neemt bij Haringvlietsluizen 50% open de verticale getijbeweging in het NDB toe. Uitzondering hierop is het benedenstroomse gedeelte van de noordrand: Nieuwe Waterweg, Oude Maas tot Spijkenisse en de Nieuwe Maas tot Rotterdam (zie tabel 3 t/m 5).

In figuur 88 en 89 is de voortplanting van het verticale getij in het NDB getekend (vergelijk met fig. 34. t/m 37 voor het geval 100% open. De getijbeweging bij 50% open blijkt overal "tussen die van de huidige situatie en 100% open in te zitten".

Aan de monding van het Haringvliet ontstaat een "geknepen" horizontaal getij: $QM2_{50\%} = 9500 \text{ m}^3/\text{s}$ ($QM2_{100\%} = 13600 \text{ m}^3/\text{s}$).

Figuur 90 t/m 92 geven een beeld van de voortplanting van het horizontaal getij (vergelijk met fig. 38 t/m 43 voor het geval 100% open). Evenals het verticale getij is het horizontaal getij bij Haringvlietsluizen 50% open een "tussengeval" van de huidige situatie en 100% open. Ter illustratie is dit voor de takken aan de noordrand in onderstaande tabel weergegeven.

	Huidig beheersregime QM2 [m^3/s]	HVSL 100% open QM2 [m^3/s]	HVSL 50% open QM2 [m^3/s]
Hoek van Holland	5950	7285	6340
Westgeul:			
- Nieuwe Waterweg	5290	6400	6070
- Nieuwe Maas	3040	3680	3430
- Oude Maas	2515	2760	2750

De verdeling van de rivierafvoer over de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen is, in vergelijking met de getijbeweging tamelijk ongevoelig voor een variatie in doorstroomprofiel bij de Haringvlietsluizen:

Q_{br} [m ³ /s]	HVSL 100%		HVSL 50%	
	Q_{wawe} [m ³ /s]	Q_{HVSL} [m ³ /s]	Q_{wawe} [m ³ /s]	Q_{HVSL} [m ³ /s]
1100	418	515	388	533
1700	580	972	615	926
3000	1070	1918	1234	1736

Bij $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ neemt de rivierafvoer via de Haringvlietsluizen bij 50% open ten opzichte van 100% open toe. De verschillen vallen echter binnen de nauwkeurigheidsmarge van ZWENDL voor de gevallen met Haringvlietsluizen "open".

Ten opzichte van de huidige situatie neemt in het hele bekken het middenstandsverschil met Hoek van Holland af, tabel 12 (zie par. 4.3).

Zoutindringing

Haringvlietsluizen 50% open, $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$: Proef H

De zoutindringing langs de Nieuwe Maas is gelijk aan die voor Haringvlietsluizen 100% open (proef G), de monding van de Hollandsche IJssel verzilt niet. Langs de Oude Maas zijn de gemiddelde dichtheden bij 50% open iets hoger dan bij 100% open. Ter illustratie onderstaande tabel en figuur 93.

	Proef H (50%)	Proef G (100%)
Hoek van Holland	13450	13150
Maassluis	8700	8450
Quarantaine station	3800	3700
v. Brienoordbrug	300	300
Spijkenisse	3350	3150
Beerenplaat	850	700

Verziltings oppervlak [mg Cl⁻/l]

Bij Beerenplaat neemt met name de maximale verzilting toe (zie fig. 94):
50% max. = 4300 mg Cl⁻/l, 100% max. = 3150 mg Cl⁻/l.

De verzilting op het Spui is bij 50% open lager dan bij 100% open:

Spui Beerenplaat: 100%: 650 mg Cl⁻/l, 50%: 300 mg Cl⁻/l

Spui Zuidland: 100%: 450 mg Cl⁻/l, 50%: 100 mg Cl⁻/l

Langs de zuidrand reikt het zout minder ver dan bij 100% open:

bij 50% tot Vuilegat/Den Bommel en bij 100% tot Ventjagersgaatje. Vergelijk fig. 95 t/m 98 met fig. 68 t/m 72.

De zoutindringing langs de rechteroever is evenals bij 100% open kleiner dan langs de linkeroever. Ook bij 50% open hebben de bodemposities bij Slijkplaat en Aardappelgat een vrijwel constante hoge waarde.

Ter illustratie fig. 99 t/m 102.

Figuur 103 en 104 tonen de voorschrijdend gemiddelde waarden van de dichtheid bij Haringvliet-monding, Middelharnis en Stad a/h Haringvliet. Ten opzichte van proef G (fig. 73 en 74) neemt de gelaagdheid toe.

Tijdens doodtij neemt de zoutindringing af. De springtij/doodtij variatie is kleiner dan bij 100% open.

Haringvlietsluizen 50% open, $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$: Proef N

Evenals proef M ($Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$, HVSL 100% open) is proef N gestuurd met een debiet ontleend aan een verkeerd uitgevoerde ZWENDL berekening (zie par. 4.3). De gevolgen hiervan worden besproken bij de interpretatie in par. 5.2.

Ten opzichte van het geval met Haringvlietsluizen 100% open neemt bij 50% open de zoutindringing langs de noordrand iets af. Zie onderstaande tabel en fig. 105.

	Proef M HVSL 100% open $Q_{br} = 3000$	Proef N HVSL 50% open $Q_{br} = 3000$
Hoek van Holland	11600	11100
Maassluis	5850	5600
Quarantaine station	350	100
v. Brienoordbrug	-	-
Spijkenisse	650	500
Beerenplaat	-	-

Verziltings oppervlak [$\text{mg Cl}^-/\text{l}$]

Langs de Zuidrand reikt het zout aan de linkeroever tot Stad a/h Haringvliet, aan de rechteroever wordt bij Korendiep al geen zout meer gemeten (zie fig. 106 t/m 108). Opvallend is de grote gevoeligheid van de dichtheid bij Haringvliet-monding voor de dagelijkse ongelijkheid.

Figuur 109 toont de voortschrijdend gemiddelde waarden van de dichtheid bij Haringvliet-monding.

Tijdens doodtij neemt de zoutindringing af. De grote gevoeligheid van de dichtheid bij Haringvliet-monding voor de dagelijkse ongelijkheid geeft 50% open een andere springtij/doodtij variatie als 100% open (zie fig. 76 en 80). Het voortschrijdend gemiddelde geeft hierdoor een vertekend beeld van de springtij/doodtij variatie van de dichtheid bij 50% open.

5 Interpretatie

5.1 "Spuimanipulaties"

Spuien bij $Q_{br} < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$: Proef C, D en E.

Het spuien via de Haringvlietsluizen leidt tot een afname van de rivierafvoer via de Nieuwe Waterweg en daarmee tot een toename van de zoutindringing. Om de invloed van het alternerend onttrekken i.p.v. continu op de zoutindringing te bepalen worden proeven vergeleken die qua rivierafvoer via de Nieuwe Waterweg overeenkomen maar verschillen doordat bij de één wel en bij de ander niet via de Haringvlietsluizen wordt gespuid.

De volgende proeven zijn met elkaar vergeleken:

Vergelijk:

met:

Referentie				Proef				
Proef	Q_{br} [m ³ /s]	extr.ontr. [m ³ /s]	Q_{wawe} [m ³ /s]	Proef	Q_{br} [m ³ /s]	amp.quasi extr.ontr. [m ³ /s]	hor.getij [m ³ /s]	Q_{wawe} [m ³ /s]
R	800	220 continu	410	C	1100	485 alter.	530	410
R	800	220 continu	410	E	1700	1105 alter.	1245	410
B	1700	-	1515	K	3000	1450 alter.	1520	1500

In fig. 110 zijn de voor de zoutindringing belangrijke waterbewegingsgegevens van deze proeven gepresenteerd. In figuur 111 t/m 113 worden de longitudinale dichtheidsverdelingen van deze proeven vergeleken.

Het blijkt dat voor de takken waar de rivierafvoeren van proef en referentie overeenkomen de zoutverdelingen identiek zijn.

Het "quasi" horizontale getij aan de monding van het Haringvliet is niet sterk genoeg om de getijbeweging in het inhomogene deel van het NDB wezenlijk te

veranderen. De zoutindringing wordt bij het spuien via de Haringvlietsluizen bij bovenafvoeren $< 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ alleen bepaald door de gewijzigde verdeling van de rivierafvoer. Het alternerend onttrekken heeft dezelfde invloed op de inhomogene waterbeweging als continu onttrekken.

Dichtheid-rivierafvoerrelaties

In [8] worden relaties gegeven tussen enerzijds dichtheden op de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas en de Oude Maas (benedenstrooms van het Spui) en anderzijds de rivierafvoeren door deze takken. Hiermee kunnen voor een willekeurige (continue) onttrekking in het NDB, de dichtheidsveranderingen worden vastgesteld indien in de afgeleide relaties de rivierafvoeren van de Nieuwe en Oude Maas worden ingevuld.

Nu blijkt dat het alternerend onttrekken ten opzichte van het continu onttrekken geen verschillen in de zoutindringing geeft, kunnen deze dichtheid-rivierafvoer relaties ook worden toegepast op gevallen met bovenafvoeren kleiner dan $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ waarbij via de Haringvlietsluizen wordt gespuid. Dit is verder uitgewerkt in bijlage 4.

Haringvlietsluizen gesloten bij $Q_{br} > 1700 \text{ m}^3/\text{s}$: proef L

Doel van deze ingreep is de zoutindringing in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas zoveel mogelijk te beperken. In het hierdoor ontstane homogeen zoete gebied zou dan de snelheidsverdeling niet meer beïnvloed worden door dichtheidsverschillen. Hierdoor zouden, in combinatie met de hoge bovenafvoer, de stroomsnelheden, ook nabij de bodem, toenemen. Het in de Nieuwe Maas en de Nieuwe Waterweg gesedimenteerde slib zou dan "doorgespoeld" kunnen worden naar zee.

Uit resultaten van dit onderzoeksgeval blijkt dat door de hoge bovenafvoer de Nieuwe Waterweg meer gelaagd is. Er is duidelijk sprake van een zouttong die, evenredig met de lengte van de getijweg, de Nieuwe Waterweg in- en uitschuift. Het zout reikt tot de Botlekhaven. Op de Nieuwe Maas wordt het beoogde effect op de inhomogene waterbeweging bereikt. Deze is permanent zoet. Op de Nieuwe Waterweg wordt dit slechts ten dele gerealiseerd. Alleen tijdens eb is de Nieuwe Waterweg voor het grootste gedeelte zoet.

Tijdens eb nemen zowel op de Nieuwe Maas als de Nieuwe Waterweg de stroomsnelheden en de hiermee samenhangende bodemschuifspanningen toe.

Of de hierboven beschreven veranderingen in de inhomogene waterbeweging voldoende zijn om daadwerkelijk het gesedimenteerde slib naar zee door te spoelen wordt besproken in hfdst. 3 van de oorspronkelijke rapportage van "Manipulaties Haringvlietsluizen".

5.2 Haringvlietsluizen "open"

In deze paragraaf komen achtereenvolgens aan de orde:

- Het gebruik van ZWENDL en het Getijmodel Rijnmond bij de onderzoeksgevallen Haringvlietsluizen "open".
- De verdere uitwerking van:
de estuarium getallen (zie par. 2.1)
de "locale invloed" van de Haringvlietsluizen op de inhomogene waterbeweging (zie par. 2.4)
- De interpretatie van de onderzoeksgevallen Haringvlietsluizen 100% en 50% "open".

5.2.1 Het gebruik van ZWENDL en het Getijmodel Rijnmond bij de onderzoeksgevallen Haringvlietsluizen "open".

Zwendl en het Getijmodel worden bij de onderzoeksgevallen Haringvlietsluizen "open" op een andere wijze dan oorspronkelijk voorzien gebruikt. Reeds in hfdst. 3 zijn een aantal onzekerheden besproken die als gevolg hiervan optreden.

In onderstaande tabel is samengevat welke grootheden beïnvloed worden door de onzekerheden als gevolg van het gebruik van ZWENDL bij de onderzoeksgevallen Haringvlietsluizen "open".

	verd.rivierafv. Nw. Waterweg HVSL	middenstanden	hor. getij noordrand	vert. getij noordrand	hor. getij zuidrand	vert. getij zuidrand	zie:
Mid.st.verschil HvH, Zeeg.v. G.	X	X	-	-	-	-	3.2
Ruwheid zuidr.	-	-	-	-	X	X	b.2
Zout zuidrand	X	-	-	-	-	-	3.2

(X = van invloed op).

ZWENDL geeft, zoals ieder model, de werkelijkheid slechts met een bepaalde nauwkeurigheid weer. Voor gevallen waarbij het huidig beheersregime wordt gehanteerd blijkt ZWENDL goed te voldoen. Om de nauwkeurigheid bij gevallen met Haringvlietsluizen "open" te bepalen zouden de resultaten van de berekeningen vergeleken moeten worden met prototypegegevens. Deze zijn echter voor een situatie met Haringvlietsluizen "open" niet beschikbaar. Om toch een uitspraak over de nauwkeurigheid bij gevallen met Haringvlietsluizen "open" te kunnen doen, wordt zowel bij gevallen waarbij het huidig beheersregime wordt gehanteerd, als bij gevallen met Haringvlietsluizen "open" een massabalans opgesteld.

Q_{br}	onderz. geval	proef	totale bovenafv.	Gouda + Volkerak	riv.afv. Waterw.	riv.afv. HVSL	gecr. water
1100	ref.	A	975	80	914	-	19
	100%	F	975	80	417	515	37
	50%	/	975	80	388	533	26
1700	ref.	B	1595	80	1535	-	20
	100%	G	1595	80	580	972	37
	50%	H	1595	80	615	926	26
3000	ref.	K	3030	80	1498	1466	14
	100%	M	3030	80	1070	1918	38
	50%	N	3030	80	1239	1736	25

Bij alle gevallen blijkt de som van de rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen samen met de onttrekkingen bij Volkerak en Gouda iets groter te zijn dan de totale bovenafvoer. Bij de gevallen Haringvlietsluizen 100% "open" is dit verschil tweemaal zo groot als bij gevallen waarbij het huidig beheersregime wordt gehanteerd. Ten opzichte van de totale rivierafvoer is de hoeveelheid "gecreëerd" water echter te verwaarlozen.

Ook voor gevallen met Haringvlietsluizen "open" blijkt ZWENDL te voldoen.

Eerder genoemde onzekerheden blijven uiteraard de resultaten beïnvloeden. (De hoeveelheden "gecreëerd water" zijn wel van belang bij de interpretatie van de proeven in het Getijmodel).

Bij de gevallen Haringvlietsluizen "open" is in het Getijmodel de modelrand aan de monding van het Haringvliet debietgestuurd. De debieten worden aan ZWENDL ontleend. Gevolg hiervan is dat bovengenoemde onzekerheden in ZWENDL zich voortplanten in de resultaten van de proeven in het Getijmodel.

Bij de bepaling van de gevolgen van het gebruik van het Getijmodel Rijnmond bij de gevallen Haringvlietsluizen "open" spelen de volgende aspecten een rol:

- 1 - Reproductie van de in ZWENDL berekende waterbeweging in het Getijmodel Rijnmond.
- 2 - De gerealiseerde dichtheidsrandvoorwaarde aan de zuidrand.
- 3 - Turbulentieweergave.
- 4 - De plaatsing van ruwheidselementen in het Haringvliet/Hollandsch Diep.
- 5 - De bochten en spiegelingen in de zuidrand van het Getijmodel.

ad 1. Reproductie van de met ZWENDL berekende waterbeweging in het Getijmodel

Rijnmond.

De volgende aspecten spelen hierbij een rol:

- a) Debietrealisatie aan de zuidrand.

In tabel 13 zijn voor alle proeven met Haringvlietsluizen "open" de gerealiseerde debieten vergeleken met het oorspronkelijk ZWENDL debiet.

Samengevat leidt dit tot de resultaten zoals in onderstaande tabel weergegeven:

Qbr	1100	1700	1700	1700	3000	3000
Haringvlietsluizen "open"	100%	100%	50%	100% Δ	100%	50%
Proef	F	G	H	J	M	N
afwijking in: rivierafvoer Haringvliet- sluizen [m ³ /s]	-60	-67	-69	-64	-453	-565
2x daagse comp. [%]	1	1	1	1	1	1
4x daagse comp. [%]	3	3	3	3	8	8
"Gecreëerd water"[m ³ /s]	37	37	26	37	38	25

Als voorbeeld is in fig. 114 voor proef G het verschil tussen het gewenste debiet en het gerealiseerde debiet getekend. De grootste verschillen treden op de steile flanken van de debietcurve op. De debietregelininstallatie reageert iets te traag.

Voor alle proeven geldt dat de rivierafvoer via de Haringvlietsluizen kleiner is dan in ZWENDL. De rivierafvoer via de Nieuwe Waterweg in het Getijmodel zou dus groter moeten zijn dan in ZWENDL.

Uit voorgaande beschouwing blijkt echter dat in ZWENDL (een kleine hoeveelheid) water wordt gecreëerd. In het Getijmodel gebeurt dit niet. De som van de rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen is in het Getijmodel kleiner dan in ZWENDL. De modelrand aan de monding van het Haringvliet is debietgestuurd zodat dit verschil tussen ZWENDL en het Getijmodel, in het Getijmodel een afname van de rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg veroorzaakt. Voor de proeven F, G, H en J geldt dat er ten opzichte van ZWENDL een vertrekking van ca. 30 m³/s van de rivierafvoer van de Haringvlietsluizen naar de Nieuwe Waterweg plaatsvindt. Deze vertrekking is het netto resultaat van twee effecten:

- * Onvolkomenheden debietregelininstallatie → rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg in het Getijmodel groter.
- * ZWENDL "creëert" water → rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg in het Getijmodel kleiner.

Bij proef M en N wijken de debieten sterk af van het gewenste debiet. Een van de oorzaken hiervan is dat zowel proef M als N is aangestuurd met een onjuiste randvoorwaarde (zie par. 4.3 en par. 4.4). In tabel 14 zijn de "onjuiste" debieten vergeleken met de debieten ontleend aan de verbeterde ZWENDL-berekeningen.

De verschillen verklaren slechts gedeeltelijk de afwijkingen van de in het Getijmodel gerealiseerde debieten met de debieten ontleend aan de verbeterde ZWENDL berekeningen: de afwijkingen in de M4 component kunnen hieruit verklaard worden, de afwijkingen in de verdeling van de rivierafvoer niet.

In figuur 115 is de verdeling van de rivierafvoer van proef M en N zoals gemeten in het Getijmodel vergeleken met de verdeling van de rivierafvoer ontleend aan de ZWENDL-berekeningen. Hieruit blijkt de rivierafvoer via de Nieuwe Waterweg ca. $180 \text{ m}^3/\text{s}$ te groot te zijn en niet ca. $500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Oorzaak van de sterke afwijking tussen de gerealiseerde debieten en het ZWENDL debiet is een verkeerde registratie van de gerealiseerde debieten geweest. De debieten zijn wel verpompt maar het signaal (om de gerealiseerde debieten te controleren) is verkeerd doorgegeven.

De vertrekking van de rivierafvoer van de Haringvlietsluizen naar de Nieuwe Waterweg bij de gevallen Haringvlietsluizen "open", $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt op 70 (conform andere proeven te weinig onttrokken aan de zuidrand) + 70 (effect "verkeerde randvoorwaarde zie tabel 14) - 30 (gecreëerd water) = $110 \text{ m}^3/\text{s}$ geschat.

b) Reproductie van de verticale getijbeweging

In de figuren 116 t/m 119 zijn de waterstanden bij Zuidland, Moerdijk, Krimpen en Beerenplaat, zoals berekend met ZWENDL en zoals gemeten in het Getijmodel voor zowel een geval waarbij het huidig beheersregime wordt gehanteerd (proef B) als een geval met Haringvlietsluizen "open" (proef G) met elkaar vergeleken.

Van belang is of het sturen van het model aan twee "zeeranden" (Haringvlietsluizen, Hoek van Holland) tot extra afwijkingen leidt. De verschillen tussen ZWENDL en het Getijmodel blijken voor beide onderzoeksgevallen van dezelfde orde grootte te zijn.

Hieruit blijkt dat de getijvoortplanting in het Getijmodel ook bij de gevallen Haringvlietsluizen "open" overeenkomt met de getijvoortplanting in ZWENDL.

ad 2. De gerealiseerde dichtheidsrandvoorwaarde aan de zuidrand.

Bij het gebruik van het Getijmodel bij de gevallen Haringvlietsluizen "open" wordt een van de grootste onzekerheden gevormd door de op te leggen dichtheidsrandvoorwaarde aan de rivierzijde van de Haringvlietsluizen (meetpunt Haringvliet-monding).

Geschikte prototype gegevens voor de situatie Haringvlietsluizen "open" ontbreken. Vergelijking met andere estuaria wordt bemoeilijkt door de "locale invloed" van de Haringvlietsluizen op de inhomogene waterbeweging (zie par. 2.4). Kwantitatieve uitspraken over het te zoet/te zout zijn van de dichtheidsrandvoorwaarde zijn hierdoor niet te maken.

Wel kunnen een aantal kwalitatieve uitspraken over de in het Getijmodel gerealiseerde dichtheidsrandvoorwaarde worden gedaan.

Ten eerste kan het doodvolume vergeleken worden met het vloedvolume (zie par. 3.2). Het doodvolume in de uitstroombak bedraagt $\pm 5 \text{ m}^3$, op prototypeschaal is dit $5 * 64 * 640 * 640 = 131.072.000 \text{ m}^3$.

Bij de gevallen met Haringvlietsluizen "100% open" zijn de vloedvolumina maximaal $1,8 * \text{het doodvolume}$ en minimaal $1,0 * \text{het doodvolume}$. De extreme situaties vloedvolume "veel groter" of "veel kleiner" dan het doodvolume treden niet op.

Bovendien treedt in het uitstroombak menging op. Dit blijkt uit het feit dat reeds wanneer $1,5 - 2,0 \text{ m}^3$, en niet het gehele doodvolume ($\pm 5 \text{ m}^3$), in het model is teruggestroomd de dichtheid bij Haringvliet-monding toeneemt (zie fig. 120).

Ten tweede kan de dichtheidsrandvoorwaarde bij Haringvliet-monding worden vergeleken met die bij Hoek van Holland.

Haringvlietsluizen 100% open vertikaal- getijgemiddelde dichtheid ($\bar{\rho} - \rho_0$)			
Proef	Qbr [m ³ /s]	Hoek van Holland [kg/m ³]	Haringvliet-monding [kg/m ³]
F	1100	19,6	18,1
G	1700	18,4	14,4
M	3000	16,2	10,6

De gemiddelde dichtheden bij Haringvliet-monding zijn lager dan bij Hoek van Holland. Dit lijkt reëel want de Haringvlietsluizen liggen + 5 km meer landinwaarts. Ook de sterkere afname van de gemiddelde dichtheid bij Haringvliet-monding bij hogere afvoeren lijkt reëel, omdat bij hogere afvoeren een relatief groter deel van de rivierafvoer via de Haringvlietsluizen naar zee afstroomt.

Ten derde kan uitgaande van de gemiddelde dichtheid bij Hoek van Holland, de gemiddelde dichtheid bij de Haringvlietsluizen worden afgeschat. Hierbij wordt verondersteld dat in het deel van het estuarium zeewaarts van de Haringvlietsluizen een zelfde dichtheidsgradient aanwezig is als in de Nieuwe Waterweg.

vertikaal -getij- gemiddelde dichtheid ($\bar{\rho} - \rho_0$)		dichth. grad.		vert.-getijgem. dichtheid ($\bar{\rho} - \rho_0$)
Qbr [m ³ /s]	Hoek v. Holland [kg/m ³]	Maassluis [kg/m ³]	[kg/m ³ /km]	Haringvliet-mond. [kg/m ³]
1100	19,6	13,0	0,64	16,4
1700	18,4	11,8	0,64	15,2
3000	16,2	8,2	0,78	12,3

Op grond van bovenstaande beschouwingen blijkt dat de gerealiseerde dichtheidsrandvoorwaarde, bij de onderzoeksgevallen Haringvlietsluizen 100% open,

niet extreem te zoet of te zout is. De vertikaal-getijgemiddelde dichtheden liggen qua orde grootte in de buurt van de vertikaal-getijgemiddelde dichtheden in de Nieuwe Waterweg.

De gerealiseerde dichtheidsrandvoorwaarde aan de monding van het Haringvliet lijkt wat betreft de vertikaal-getijgemiddelde dichtheid geschikt voor een eerste schatting van de zoutindringing langs de zuidrand.

In tegenstelling tot de noordrand van het NDB neemt langs de zuidrand tijdens doortij de zoutindringing af. Gegeven de onzekerheden in de realisatie van de dichtheidsrandvoorwaarde is hiermee nog niet aangetoond dat in het prototype ook tijdens doortij de zoutindringing afneemt.

De dichtheid bij Haringvliet-monding neemt pas na LWSK toe, zie fig. 120. Zoals in par. 3.2 besproken is dit een gevolg van het "doodvolume" in de uitstroombak. Bij gevallen met Haringvlietsluizen "open", zal in het prototype de dichtheid vlak voor of pas tijdens LWSK gaan toenemen, maar niet na LWSK (zie "locale invloed Haringvlietsluizen", optreden intern superkritische stroming, par. 2.4).

Deze modeleigenschap introduceert een fout in de dichtheidsrandvoorwaarde.

Bij de gevallen met Haringvlietsluizen 50% open nemen de gemiddelde dichtheden bij Haringvliet-monding sterk af.

Haringvlietsluizen 50% open		
vertikaal- getijgemiddelde dichtheid ($\bar{\rho} - \rho_0$)		
Proef	Q_{br} [m ³ /s]	Haringvliet-monding [kg/m ³]
H	1700	8,1
N	3000	4,6

De vloedvolumina bij de gevallen Haringvlietsluizen 50% open zijn maximaal 1,2 * het doodvolume en minimaal 0,66 * het doodvolume. Dit verklaart de sterke afname van de zoutindringing: er wordt minder zout water het model ingepompt.

In het prototype doet zich mogelijk een soortgelijke situatie voor.

Als gevolg van de afgenomen horizontale getijbeweging, neemt de gelaagdheid en daarmee de gravitatiecirculatie toe. Het binnendringen van zout water langs de bodem van het Haringvliet wordt echter door de drempel ter plaatse van de Haringvlietsluizen gedeeltelijk verhinderd.

De hoeveelheid zout water die het Haringvliet over de drempel heen binnestroomt wordt als gevolg hiervan voornamelijk bepaald door de vloedvolumina.

Bij 50% open zijn deze volumina kleiner dan bij 100% open, wat een afname van de zoutindringing tot gevolg heeft.

Gegeven de onzekerheden in de dichtheidsrandvoorwaarde aan de monding van het Haringvliet kan over de grootte van de afname van de zoutindringing bij Haringvlietsluizen 50% open géén uitspraak worden gedaan.

ad 3. Turbulentie weergave (zie par. 3.2)

Gecontroleerd dient te worden of de waterbeweging aan de zuidrand van het NDB in het model turbulent wordt weergegeven. Daartoe is in [1] de eis gesteld dat onder modelomstandigheden het Reynoldsgetal minimaal van de orde 10.000 dient te zijn.

Voor de zuidrand geldt voor het geval $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$:

	50% open				100% open			
	u	h	Re_p	Re_m	u	h	Re_p	Re_m
Haringvliet	0,38	15	$5,7 \cdot 10^6$	11150	0,53	15	$8,0 \cdot 10^6$	15625
Haringvl./HD.	0,36	14	$5,0 \cdot 10^6$	9850	0,50	14	$7,0 \cdot 10^6$	13670
Hollandsch Diep	0,34	12	$4,1 \cdot 10^6$	8000	0,44	12	$5,3 \cdot 10^6$	10350
Spui	0,30	9	$2,7 \cdot 10^6$	5250	0,25	9	$2,3 \cdot 10^6$	4500
Nieuwe Merwede	0,30	6	$1,3 \cdot 10^6$	3500	0,40	6	$2,4 \cdot 10^6$	4700

Aan de gestelde eis $Re_m > 10.000$ wordt over het algemeen voldaan.

Het te lage Reynolds getal op de Nieuwe Merwede en het Hollandsch Diep is wat betreft een mogelijk tekort aan menging niet bezwaarlijk, er treedt bij deze onderzoeksgevallen op die takken geen verzilting op.

Op het Spui wordt niet aan de gestelde eis voldaan. De grootschalige waterbeweging in het Spui wordt wel goed weergegeven, de zoutindringing kan echter schaalearkten vertonen.

ad 4. Plaatsing ruwheidselementen in het Haringvliet/Hollandsch Diep.

De gelaagdheidssituatie in het Haringvliet/Hollandsch Diep is gedeeltelijk gemengd/gelaagd tot gelaagd. Onder die omstandigheden is de zoutindringing gevoelig voor een variatie in het aantal mengmiddelen. Het feit dat de plaatsing van de ruwheidselementen in dit gebied op een eerste schatting is gebaseerd introduceert dus een extra onzekerheid.

ad 5. De bochten en spiegelingen in de zuidrand van het Getijmodel.

De zoutindringing langs de zuidrand in het Getijmodel is asymmetrisch. Dit is een gevolg van de bochten en spiegelingen in het model (zie par. 3.2). Een van de gevolgen van de asymmetrische zoutindringing is dat de dichtheid voor de monding van het Spui (Korendiep) onjuist wordt weergegeven. Door de ligging in de buitenbocht is deze te laag.

5.2.2. Verdere uitwerking van de estuarium getallen en van de "locale invloed" van de Haringvlietsluizen op de inhomogene waterbeweging.

* Estuarium getal (zie par. 2.1)

De gelaagdheid in een estuarium kan voor getijgemiddelde situatie worden geparаметeriseerd, bijvoorbeeld met behulp van het estuarium-Richardson getal:

Ri_E

- $Ri_E > 0,8$: gelaagd estuarium
- $0,08 < Ri_E < 0,8$: gemengd/gelaagd estuarium
- $Ri_E < 0,08$: gemengd estuarium

Voor de verschillende onderzoeksgevallen zijn in onderstaande tabel de estuarium getallen van de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet weergegeven.

	$Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$						$Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$						$Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$					
	springtij			doodtij			springtij			doodtij			springtij			doodtij		
	U_t	Q_f	Ri_E	U_t	Q_f	Ri_E	U_t	Q_f	Ri_E	U_t	Q_f	Ri_E	U_t	Q_f	Ri_E	U_t	Q_f	Ri_E
Huidige situatie	0,64	914	1,7	0,58	914	2,3	0,66	1535	2,6	0,60	1535	3,5	0,67	1498	2,4	0,61	1498	3,2
HVSL 100% open	0,74	417	0,5	0,68	417	0,7	0,74	580	0,7	0,68	580	0,9	0,76	1070	1,2	0,70	1070	1,5
HVSL 50% open	0,69	388	0,6	0,64	388	0,7	0,71	615	0,8	0,65	615	1,1	0,73	1239	1,6	0,67	1239	2,0

Estuariumgetal Waterweg
(b = 500 m)

	$Q_{br} = 1100 \text{ m}^3$						$Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$						$Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$					
	springtij			doodtij			springtij			doodtij			springtij			doodtij		
	U_t	Q_f	Ri_E	U_t	Q_f	Ri_E	U_t	Q_f	Ri_E	U_t	Q_f	Ri_E	U_t	Q_f	Ri_E	U_t	Q_f	Ri_E
Huidige situatie	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
HVSL 100% open	0,53	515	0,4	0,50	515	0,5	0,54	972	0,8	0,50	972	1,0	0,55	1918	1,4	0,52	1918	1,7
HVSL 50% open	0,38	533	1,2	0,36	533	1,4	0,39	926	1,9	0,36	926	2,4	0,39	1736	3,6	0,37	1736	4,2

Estuariumgetal Haringvliet
(b = 2000 m)

Uit de tabel blijkt dat door het permanent openen van de Haringvlietsluizen de gelaagdheid aan de noordrand afneemt. Het verschil in gelaagdheid tussen doodtij en springtij neemt eveneens af. Qua gelaagdheid is er weinig verschil tussen de gevallen Haringvlietsluizen 100% en 50% open.

Het Haringvliet is bij $Q_{br} = 1100$ en $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ gedeeltelijk gemengd/gelaagd. Bij $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ is er sprake van een gelaagde situatie. Bij 50% open neemt de gelaagdheid toe.

Deze conclusies, alleen gebaseerd op de gegevens van de waterbeweging, zijn in overeenstemming met de resultaten van het Getijmodel.

* "Locale invloed" van de Haringvlietsluizen op de inhomogene waterbeweging (zie par. 2.4)

Een drietal mechanismen zijn van belang:

- plaatselijk verkleining van het dwarsprofiel; menging door vertraging
- optreden van intern superkritische stroming
- drempelwerking.

Om het effect van de plaatselijke verkleining van het dwarsprofiel beter af te schatten worden de volgende grootheden met elkaar vergeleken:

- Het vermogen dat bij stroming door de Haringvlietsluizen wordt gedissipeerd

$$P_D = \rho g \bar{Q} \cdot \Delta \bar{H} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 10650 \cdot 0,21 (*) = 2,2 \cdot 10^7 \text{ W}$$

- Het vermogen dat nodig is om een eventuele, boven de overlaat, aanwezige gelaagde vertikaal volledig op te mengen.

$$\begin{aligned} P_M &= B \bar{u} E_M = B \bar{u} \cdot 1/8 (\rho_2 - \rho_1) g \bar{d}^2 \\ &= 990 \cdot 2,33 \cdot 1/8 \cdot 25 \cdot 9,8 \cdot (5,5)^2 (*) \\ &= 2,1 \cdot 10^6 \text{ W} \end{aligned}$$

Hieruit blijkt P_D een orde groter te zijn als P_M ; er kan dus menging optreden. Dit wil nog niet zeggen dat volledige menging optreedt omdat niet alle gedissipeerde energie aan menging ten goede komt.

* getallen ontleend aan ZWENDL; zie fig. 121

Ter bepaling van de gedachten kan een eerste schatting van het gedeelte van de gedissipeerde energie dat aan menging ten goede komt worden ontleend aan [17]. Hieruit blijkt dat wanneer een obstakel (in dit geval een schip) over een gelaagd systeem heen beweegt, 2 tot 7% van de in het systeem gebrachte bewegingsenergie wordt omgezet in een toename van potentiële energie van het systeem. Dit geval is vergelijkbaar met de situatie waarbij een gelaagd systeem over een "obstakel" (in dit geval de Haringvlietsluizen) heen beweegt. Uit voorgaande beschouwing blijkt een efficiëntie van 10% (P_M/P_D) nodig te zijn voor volledige menging.

Controle optreden intern superkritische stroming.

De stroomsnelheden boven de overlaat overschrijden ruim de 1,2 m/s (zie fig. 121). Boven de overlaat treedt intern superkritische stroming op. De in par. 2.4 beschreven stroombeelden treden op.

Uit voorgaande beschouwingen blijken de Haringvlietsluizen lokaal als "menger" te werken en de instroming van zout water langs de bodem van het Haringvliet gedeeltelijk te verhinderen.

5.2.3 Interpretatie van de onderzoeksgevallen Haringvlietsluizen 100% en 50% "open"

De interpretatie van de onderzoeksgevallen Haringvlietsluizen 100% en 50% "open" vindt gezamenlijk plaats. Reden hiervoor is dat de gevallen met Haringvlietsluizen 50% "open" beschouwd kunnen worden als variant op 100% open. De berekeningen/proeven met Haringvlietsluizen 50% open dienen om de verschijnselen die bij Haringvlietsluizen 100% open optreden beter te kunnen verklaren.

Waterbeweging

Het permanent openen van de Haringvlietsluizen leidt tot een totale verandering van de waterbeweging in het NDB. Bij het huidig spuiregime wordt de getijvoortplanting beheerst door de dempende werking van de zuidrand (zie par. 2.3). Kenmerken van deze demping zijn:

- de kleine amplitude en het (t.o.v. de Oude Maas) sterk in fase achterlopen van het verticale getij op het Haringvliet/Hollandsch Diep;
- de relatief grote getijdebieten door het Spui en de Dordtsche Kil.

Deze dempende werking ontbreekt bij de gevallen met Haringvlietsluizen 100% open. De verticale getijcurven bij Moerdijk en Zwijndrecht komen vrijwel overeen; in samenhang hiermee nemen de getijdebieten door de Dordtsche Kil sterk af ($\Delta QM2 = -90\%$).

Tussen Middelharnis en Beerenplaat is nog wel sprake van enig verschil in amplitude en fase; de afname van de getijdebieten door het Spui ($\Delta QM2 = -68\%$) is relatief gezien dan ook kleiner dan bij de Dordtsche Kil (zie fig. 122).

Bij 50% open zijn de verschillen tussen het vertikaal getij op de Oude Maas en het Haringvliet/Hollandsch Diep groter dan bij 100% open. In samenhang hiermee zijn de getijdebieten door het Spui en de Dordtsche Kil groter dan bij 100% open, maar nog steeds kleiner dan bij de huidige situatie (zie fig. 123).

Uit fig. 124 ontleend aan [4] blijkt dat voor de uitvoering van de Deltawerken het verschil tussen hoog- en laagwater bij Dordrecht groter was dan bij Hoek van Holland. Het getij langs de Oude Maas werd niet gedempt, maar slingerde op. Fig. 125 toont de voortplanting van het verticale getij langs de zuidrand.

De getijcurve bij Haringvlietsluizen-rivierzijde heeft een "afgeknotte vorm".

Het blijkt dus dat door het permanent openen van de Haringvlietsluizen de dempende werking van de zuidrand op de getijvoortplanting (vertikaal en horizontaal) in het NDB sterk afneemt.

De resulterende getijbeweging in het NDB wordt nog wel beïnvloed door het beperkte doorstroomprofiel aan de monding van het Haringvliet.

zoutindringing

noordrand

De voor de zoutindringing, belangrijkste veranderingen in de waterbeweging aan de noordrand als gevolg van het permanent openen van de Haringvlietsluizen zijn:

- afname van de rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg
- toename van de horizontale getijbeweging
- verandering van de fasen van de horizontale getijbeweging van de takken op het splitsingspunt Westgeul.

Als gevolg van de eerder genoemde onzekerheden met betrekking tot de waterbeweging en onvolkomenheden van de debietregelininstallatie aan de monding van het Haringvliet dient bij de interpretatie van de proeven met Haringvlietsluizen "open" rekening gehouden te worden met een kleinere rivierafvoer via de Nieuwe Waterweg. Bij de proeven met $Q_{br} = 1100$ en $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ (F,G,H,J) $\Delta Q_{WAVE} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$ en bij de proeven met $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ (M en N) $\Delta Q_{WAVE} = 170 \text{ m}^3/\text{s}$.

Zowel bij $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ (proef F) als bij $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ (proef G) leidt het permanent openen van de Haringvlietsluizen tot een grote toename van de zoutindringing. De toename van de zoutindringing als gevolg van de afgenomen rivierafvoer overheerst de afname van de zoutindringing als gevolg van de, door de sterkere horizontale getijbeweging, toegenomen turbulente menging.

In onderstaande beschouwing wordt getracht de effecten van de afgenomen rivierafvoer en de toegenomen getijbeweging te scheiden.

Vergelijk de inhomogene waterbeweging van de volgende proeven.

Proef	rivierafvoer Nw. Waterweg [m ³ /s]	rivierafvoer Nieuwe Maas [m ³ /s]	rivierafvoer Oude Maas [m ³ /s]	Q _{M2} H. v. Holland [m ³ /s]
A Q _{br} = 1100 m ³ /s referentie	908	282	626	5880
C Q _{br} = 1100 m ³ /s spui 485 m ³ /s	425	133	291	5860
E Q _{br} = 1700 m ³ /s spui 1105 m ³ /s	410	230	195	5950
F Q _{br} = 1100 m ³ /s HVSL 100% open	412	170	243	7225

Op grond van de verdeling van de rivierafvoer zou de zoutindringing van de proeven C, E en F op de Nieuwe Waterweg overeen moeten komen. Op de Nieuwe Maas en de Oude Maas zou de zoutindringing bij proef F tussen die van C en E in moeten liggen. Figuur 126 toont de longitudinale dichtheidsverdelingen van deze proeven. De zoutindringing bij proef F blijkt veel geringer te zijn dan bij proef C en E: dit is het effect van de extra turbulente menging. Op de Nieuwe Waterweg komen de dichtheidsverdelingen van proef A en F overeen: de extra menging compenseert de afgenomen rivierafvoer. Op de Nieuwe en Oude Maas ligt de dichtheidsverdeling van proef F tussen die van A en C + E in; de extra menging is niet genoeg om de afgenomen rivierafvoer te compenseren.

Bij Q_{br} = 3000 m³/s heeft het permanent openen van de Haringvlietsluizen slechts een kleine invloed op de zoutindringing. Dit wordt veroorzaakt door de relatief kleine afname van de rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg. De toename van de zoutindringing als gevolg hiervan kan blijkbaar grotendeels worden gecompenseerd door het effect van de toegenomen turbulente menging.

Langs de noordrand neemt de gelaagdheid af, dit is zowel een gevolg van de afgenomen rivierafvoer als de toegenomen horizontale getijbeweging (zie par. 2.1). De geringere springtij/doodtij variatie in de dichtheid wijst eveneens op het effect van een toename van de turbulente menging als gevolg van de toegenomen horizontale getijbeweging ([19]).

De verandering van de mengende werking van het splitsingspunt Westgeul komt vooral tot uiting in het dichtheidsverloop op de Nieuwe Maas (zie fig. 127). Doordat de takken rond het splitsingspunt nu praktisch tegelijkertijd kenteren (zie fig.39) wordt de instroming van zout water aan het einde van de vloedperiode vanuit de Nieuwe Waterweg in de Nieuwe Maas niet meer verhinderd. De dichtheid op de Nieuwe Maas blijft tot en met HWSK toenemen (in tegenstelling tot de huidige situatie).

Op de andere takken, Oude Maas en de Nieuwe Waterweg is het effect van de veranderde mengende werking van het splitsingspunt Westgeul moeilijker waarneembaar.

De in par. 4.3 en par.4.4 gepresenteerde resultaten, met name over de precieze ligging van de zouttong, worden beïnvloed door de onzekerheid over de rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg. Een vermindering van de rivierafvoer (als gevolg van deze onzekerheid) leidt tot een toename van de zoutindringing. Concreet betekent dit bij:

Proef F

dat Gouda verzilt

Proef G

dat er niet met zekerheid gesteld kan worden dat de monding van de Hollandsche IJssel niet verzilt.

Proef M

dat er niet met zekerheid gesteld kan worden dat de Oude Maas bij Beerenplaat niet verzilt en dat als gevolg daarvan geen verzilting op het Spui optreedt.

Ondanks de onzekerheid over de rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg kan geconcludeerd worden dat:

Het permanent openen van de Haringvlietsluizen bij lage en gemiddelde bovenafvoeren leidt tot een toename van de zoutindringing langs de noordrand. De toename van de zoutindringing als gevolg van de afgenomen rivierafvoer overheerst de afname van de zoutindringing als gevolg van de toegenomen turbulente menging.

Bij hoge bovenafvoeren ($> Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$) compenseren beide effecten elkaar en neemt de zoutindringing niet toe.

De verschillen in de zoutindringing langs de noordrand bij Haringvlietsluizen 100% en 50% open worden hoofdzakelijk bepaald door de verschillen in de verdeling van de rivierafvoer.

Op de Oude Maas zijn ook de verschillen in horizontale getijbeweging van belang. Bij $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ nemen, ondanks de iets grotere rivierafvoer via de Nieuwe Waterweg en de Oude Maas de maximale dichtheden bij Beerenplaat toe. Dit is als volgt te verklaren:

Bij Beerenplaat is sprake van een gemengde dichtheidsvertikaal. De horizontale getijbeweging in de Oude Maas bij Beerenplaat is bij 50% "open" groter dan bij 100% "open". Deze combinatie leidt tot een toename van de maximale dichtheden bij 50% open.

zuidrand

Het gebruik van ZWENDL en het Getijmodel Rijnmond bij de gevallen Haringvlietsluizen "open" leidt met name bij de bepaling van de zoutindringing langs de zuidrand tot een groot aantal onzekerheden/onnauwkeurigheden. Als gevolg hiervan kan aan de proeven in het Getijmodel niet meer dan een "eerste indruk" van de zoutindringing langs de zuidrand worden ontleend.

Enige houvast is te vinden in prototypewaarnemingen, gedaan in de periode dat het Volkerak reeds was afgesloten, terwijl de Haringvlietsluizen nog niet in werking waren. (zie par 4.3). Een goede vergelijking wordt bemoeilijkt door het feit dat in deze periode slechts bij de oppervlakte posities chloridegehalten zijn vastgesteld en dat chloridegehalten van boven $500 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ niet beschikbaar zijn.

Vergeleken met de resultaten uit het prototype blijkt dat bij $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ de verzilting tot voorbij de Volkeraksluizen reikt, $\pm 200 \text{ mg Cl}^-/\text{l}^*$ aan het wateroppervlak in het prototype en tot $1800 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ aan de bodem in het Getijmodel beide bij hoogwaterstroomkentering.

Bij $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ reikt de zoutindringing in het prototype (vermoedelijk) niet verder dan tot Tiengemeten. In het Getijmodel wordt de zoutindringing tot net voorbij Tiengemeten geconstateerd. Bij $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ reikt de punt van de zouttong zowel in het Getijmodel als in het prototype net voorbij Middelharnis (uitmonding Spui).

Het opvallende verloop van de dichtheid van de bodemposities bij Slijkplaat en Aardappelgat is een gevolg van een schaaffect. Zowel bij Slijkplaat als bij Aardappelgat is het Haringvliet erg diep. De bodem heeft hier dus een zekere helling.

In een vertrokken model wordt deze helling steiler weergegeven (bij de schalen van het Getijmodel 10 maal zo steil). Als gevolg hiervan is in het Getijmodel de helling zo steil dat de stroming loslaat. In het model vullen de diepe putten bij Slijkplaat en Aardappelgat zich met zout water, dat verder niet aan de stroming deelneemt. Alleen tijdens vloed bij maximale vloedstroom wordt een gedeelte van het zoute water "meegesleurd" waardoor tijdelijk de dichtheid afneemt. In het prototype doet een dergelijk verschijnsel zich niet voor, de stroming volgt de bodem.

Zowel bij $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ als bij $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ verzilt het Spui.

Bij $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt in het Getijmodel in het Spui geen verzilting geconstateerd. Zekerheid dat het Spui ook in het prototype niet verzilt is niet te geven omdat in deze omstandigheid de onzekerheden in de proefomstandigheden (richting en grootte van de rivierafvoer door het Spui) en de modeleigenschappen (laag Reynoldsgetal, de spiegeling en het labyrinth) het meetresultaat in het Getijmodel te sterk beïnvloeden.

* dit is de verzilting minus de verzilting van de Bovenrijn $150 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ resp. $250 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ (vastgesteld in twee verschillende meetperioden)

6 Samenvatting/konklusies

In dit afstudeerproject zijn de veranderingen in de inhomogene waterbeweging in het Noordelijk Deltabekken (NDB) bij een gewijzigd beheersregime van de Haringvlietsluizen beschreven.

Bij het huidig beheersregime zijn de Haringvlietsluizen gesloten bij Bovenrijnafvoeren (= Q_{br}) kleiner dan $1700 \text{ m}^3/\text{s}$. Al het rivierwater stroomt via de Nieuwe Waterweg af naar zee. De getijbeweging in het NDB wordt volledig bepaald door het verticale getij bij Hoek van Holland. Zout dringt alleen via de Nieuwe Waterweg het NDB binnen. Bij hogere bovenafvoeren wordt een gedeelte van het rivierwater via de sluisen op zee gespuid. Dit gebeurt op een zodanige wijze dat er via de sluisen geen zout het Haringvliet binnendringt.

De volgende alternatieve beheersregimes zijn onderzocht:

1. "Spuimanipulaties"

De verdeling van de rivierafvoer over de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen wordt veranderd.

Spuien via de Haringvlietsluizen bij $Q_{br} < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$.

Aanleiding tot een dergelijke ingreep zou een lozing van verontreinigingen t.g.v. een calamiteit of het afvoeren van ijs kunnen zijn.

Haringvlietsluizen gesloten bij $Q_{br} > 1700 \text{ m}^3/\text{s}$.

Doel van deze ingreep is het "doorspoelen" van slib in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas.

2. Haringvlietsluizen "open"

Zowel tijdens eb als tijdens vloed zijn de Haringvlietsluizen geopend, alleen bij een grote middenstandsverhoging op zee worden zij gesloten; de Haringvlietsluizen worden als stormvloedkering gebruikt. Het getij dringt zowel via de Nieuwe Waterweg als via het Haringvliet het NDB binnen. Het rivierwater stroomt via twee takken vrij af naar zee. Via de Haringvlietsluizen dringt zout het Haringvliet binnen.

Doel van een dergelijke wijziging van het beheersregime van de Haringvliet-sluizen is de sedimentatie van verontreinigd slib in het Haringvliet/Hollandsch Diep bekken door een sterkere horizontale getijbeweging te voorkomen.

Twee varianten zijn onderzocht:

- Haringvlietsluizen 100% open, alle schuiven van de Haringvlietsluizen zijn permanent geopend.
- Haringvlietsluizen 50% open, slechts de helft van het doorstroomprofiel van de Haringvlietsluizen is permanent geopend. Deze gevallen dienen om de verschijnselen die bij Haringvlietsluizen 100% open optreden beter te kunnen verklaren.

De volgende onderzoeksmiddelen zijn gebruikt:

ZWENDL: één dimensionaal wiskundig netwerkmodel waarin de water- en zoutbeweging in het NDB als functie van tijd en plaats worden berekend. Hieraan zijn waterstanden, debieten en watersnelheden ontleend.

Getijmodel Rijnmond:

vertrokken hydraulisch model ($n_H = 640$, $n_V = 64$) van het NDB, waarin de zoutindringing kan worden gesimuleerd.

Hieraan zijn de longitudinale en verticale dichtheidsverdelingen ontleend. Daarnaast zijn bij een aantal proeven snelheidsmetingen verricht.

Als randvoorwaarden zijn toegepast de getijreeks mei 1979 en de bovenafvoeren $Q_{br} = 1100, 1700$ en $3000 \text{ m}^3/\text{s}$. Bij Gouda en de Volkeraksluizen zijn de standaard-onttrekkingen van resp. 30 en $50 \text{ m}^3/\text{s}$ toegepast. Het onderzoeksprogramma is samengevat in tabel 2.

Resultaten

Spuien via de Haringvlietsluizen bij $Q_{br} < 1700 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ten opzichte van de huidige situatie neemt door het spuien via de Haringvlietsluizen de rivierafvoer via de Nieuwe Waterweg af. Hierdoor neemt de zoutindringing toe.

Een drietal situaties zijn onderzocht.

$Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$, getijgemiddeld $485 \text{ m}^3/\text{s}$ spuien.

$Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$, getijgemiddeld $485 \text{ m}^3/\text{s}$ en $1105 \text{ m}^3/\text{s}$ spuien.

- Aan de monding van het Haringvliet ontstaat een quasi-horizontale getijbeweging, met een dubbeldaagse component ter grootte van het spuidebiet. Dit quasi-getij plant zich voort langs de zuidrand van het NDB en leidt op de Merweden en het Hollandsch Diep tot een kleine toename van de getijbeweging. Bij het spuidebiet $Q = 1105 \text{ m}^3/\text{s}$ dalen de middenstanden op het Haringvliet/Hollandsch Diep ca. 0,40 m en op de Merweden ca. 0,30 m.
- De getijbeweging op de inhomogene takken, de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas en de Oude Maas wordt niet beïnvloed door het spuien via de Haringvlietsluizen. Bij het spuidebiet $Q = 1105 \text{ m}^3/\text{s}$ dalen de middenstanden in dit gebied ca. 0,10 m.
- De zoutindringing langs de noordrand die bij het spuien via de Haringvlietsluizen ontstaat is vergelijkbaar met de zoutindringing die ontstaat bij een continue onttrekking. De veranderingen in de zoutindringing worden alleen bepaald door de veranderde rivierafvoeren via de Nieuwe Maas en de Oude Maas. Bij het spuidebiet $Q = 1105 \text{ m}^3/\text{s}$ reikt het zout langs de Nieuwe Maas voorbij de monding van de Hollandsche IJssel en via de Oude Maas en het Spui tot het Haringvliet.

Haringvlietsluizen gesloten bij $Q_{br} > 1700 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dit geval is onderzocht met een bovenafvoer $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Door het gesloten houden van de Haringvlietsluizen wordt al het rivierwater richting Nieuwe Waterweg gestuwd. Hierdoor nemen ten opzichte van de huidige

situatie de middenstanden in het hele bekken toe; op het Haringvliet/Hollandsch Diep ca. 0,5 m, bij Rotterdam en Spijkenisse ca. 0,10 m.

De zoutindringing blijft beperkt tot de Nieuwe Waterweg.

Tijdens springtij bereikt het zout de monding van de Botlekhaven. Tijdens doottij is dit afhankelijk van de dagelijkse ongelijkheid, het zout bereikt slechts éénmaal per dag de Botlekhaven.

Tijdens eb is de Nieuwe Waterweg voor het grootste gedeelte zoet. De snelheidsverdeling wordt niet meer beïnvloed door dichtheidsverschillen. De stroomsnelheden, ook nabij de bodem, nemen toe.

Haringvlietsluizen "open"

Het permanent openen van de Haringvlietsluizen (100%) leidt tot een totale verandering van de waterbeweging in het NDB. Zowel langs de noord- als langs de zuidrand dringt een getijgolf het systeem binnen.

De dempende werking van de zuidrand op de getijvoortplanting in het NDB verdwijnt. Hierdoor neemt ten opzichte van de huidige situatie de horizontale getijbeweging in de Nieuwe Waterweg (ca. 20%), de Nieuwe Maas (ca. 20%) en de Oude Maas West (ca. 10%) toe. In de noord-zuid lopende takken neemt de horizontale getijbeweging af, Spui (ca. 60%), Dordtsche Kil (ca. 90%) en Noord (ca. 25%).

De verticale getijbeweging neemt in het hele NDB toe.

Aan de rivierzijde van de Haringvlietsluizen is de verticale getijamplitude 0,57 m en deze slingert op tot ca. 0.70 m rond het eiland van Dordrecht.

Bij het huidig spuiregime wordt met name bij $Q_{br} \leq 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ de rivierafvoer richting Nieuwe Waterweg gestuwd. Door het permanent openen van de Haringvlietsluizen stroomt de rivierafvoer via twee takken vrij af naar zee (globaal 40% via de Nieuwe Waterweg en 60% via de Haringvlietsluizen). In samenhang hiermee nemen de middenstanden af ($Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$; Moerdijk -0,30 m, Rotterdam -0,05 m).

De getijbeweging bij Haringvlietsluizen 50% open (vertikaal en horizontaal) is een "tussengeval" van de huidige situatie en de Haringvlietsluizen 100% open.

De verdeling van de rivierafvoer over de Nieuwe Waterweg en de Haringvliet-sluisen is, in vergelijking met de getijbeweging, tamelijk ongevoelig voor een variatie van het doorstroomprofiel aan de monding van het Haringvliet.

Bij de gevallen Haringvlietssluisen "open" wordt ZWENDL op een andere manier dan oorspronkelijk voorzien gebruikt. Hierbij treden een aantal specifieke problemen op:

- Het juiste middenstandsverschil Hoek van Holland-Zeegat van Goeree als functie van de rivierafvoer is onbekend. Dit is van invloed op de berekende verdeling van de rivierafvoer over de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietssluisen.
- De toe te passen ruwheden aan de zuidrand zijn onbekend. Dit is van invloed op de berekende getijvoortplanting langs de zuidrand.
- De toe te passen dispersie-coëfficiënten aan de zuidrand zijn onbekend. Dit is van invloed op de verdeling van de rivierafvoer over de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietssluisen.

Als gevolg hiervan hebben de resultaten van de ZWENDL berekeningen voor de gevallen Haringvlietssluisen "open" een grotere onzekerheidsmarge dan voor gevallen waarin het huidig beheersregime wordt gehanteerd.

Zoutindringing

In het Getijmodel zijn een vijftal situaties onderzocht:

Haringvlietssluisen 100% open, $Q_{br} = 1100, 1700$ en $3000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Haringvlietssluisen 50% open, $Q_{br} = 1700$ en $3000 \text{ m}^3/\text{s}$.

De resultaten van de proeven met Haringvlietssluisen 100% open zijn samengevat in figuur 128.

noordrand: Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Oude Maas

De voor de zoutindringing langs de noordrand belangrijkste veranderingen in de waterbeweging als gevolg van het permanent openen van de Haringvlietssluisen zijn:

- afname van de rivierafvoer via de Nieuwe Maas en de Oude Maas
- toename van de horizontale getijbeweging.

Zowel bij $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ als bij $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ leidt het permanent openen van de Haringvlietsluizen tot een toename van de zoutindringing.

Bij $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ verzilt de monding van de Hollandsche IJssel (max. = $600 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$). De verzilting bij Gouda valt binnen de instelnaauwkeurigheid van het model. Gegeven de onnauwkeurigheden van het onderzoek is hiermee niet aangetoond dat bij Gouda geen verzilting optreedt.

Bij $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ treedt juist geen verzilting van de monding van de Hollandsche IJssel op. Gegeven de onnauwkeurigheden van het onderzoek is hiermee niet aangetoond dat de monding van de Hollandsche IJssel niet verzilt.

Zowel bij $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ als $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ reikt het zout voorbij splitsingspunt Beerenplaat en verzilt het Spui.

Bij $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ is de toename van de zoutindringing langs de Nieuwe Maas marginaal. Langs de Oude Maas neemt de zoutindringing iets af, Beerenplaat verzilt niet. Gegeven de onnauwkeurigheden van het onderzoek is hiermee niet aangetoond dat Beerenplaat niet verzilt.

Bij lage en gemiddelde bovenafvoeren neemt als gevolg van het permanent openen van de Haringvlietsluizen de zoutindringing langs de noordrand toe. De toename van de zoutindringing als gevolg van de afgenomen rivierafvoer overheerst de afname van de zoutindringing als gevolg van de toegenomen horizontale getijbeweging.

Bij hoge bovenafvoeren ($Q_{br} > 3000 \text{ m}^3/\text{s}$) compenseren deze effecten elkaar en neemt de zoutindringing ten opzichte van de huidige situatie niet toe.

De verschillen in zoutindringing langs de noordrand bij Haringvlietsluizen 100% en 50% open worden hoofdzakelijk bepaald door de verschillen in de verdeling van de rivierafvoer.

Bij gevallen met Haringvlietsluizen "open" wordt de modelrand aan de monding van het Haringvliet debietgestuurd. De debieten worden aan ZWENDL ontleend. Hierdoor planten fouten uit ZWENDL zich voort in het Getijmodel. Het sturen van het Getijmodel met ZWENDL en onvolkomenheden in de debietregelinstantie

hebben tot gevolg dat er bij de interpretatie van de resultaten met een afname van de rivierafvoer via de Nieuwe Waterweg rekening gehouden dient te worden. Dit is de oorzaak van eerdergenoemde onnauwkeurigheden.

zuidrand: Haringvliet, Hollandsch Diep

Aan de resultaten van de proeven in het Getijmodel kan niet meer dan een eerste schatting van de zoutindringing langs de zuidrand worden ontleend. Oorzaken hiervan zijn:

Modeltechnisch

- De geometrisch onjuiste weergave van het Haringvliet en Hollandsch Diep in het Getijmodel (Het Haringvliet is niet aangesloten op de modelzee, de Haringvlietsluizen zijn niet opgenomen en zeewaarts ontbreekt een deel van het estuarium. Delen van de takken zijn gespiegeld en in de vorm van een labyrinth weergegeven);
- De plaatsing van ruwheidselementen in het Haringvliet/Hollandsch Diep is niet geijkt voor een situatie met Haringvlietsluizen "open";
- De provisorische zout water-randvoorwaardevoorziening in het Getijmodel.

Prototype

- De dichtheidsrandvoorwaarde aan de rivierzijde van de Haringvlietsluizen is onbekend. Deze wordt mede bepaald door de "mengende" werking van de Haringvlietsluizen en de menging in het zeewaartsgelegen deel van het estuarium.

Door deze combinatie van factoren is het moeilijk een uitspraak te doen of het Getijmodel "te zoet" of "te zout" is.

Enige houvast is te vinden in prototypewaarnemingen, gedaan in de periode dat het Volkerak reeds was afgesloten, terwijl de Haringvlietsluizen nog niet in werking waren. Een goede vergelijking wordt bemoeilijkt door het feit dat in deze periode slechts bij de oppervlaktesposities chloridegehalten zijn vastgesteld en dat chloridegehalten van boven 500 mg Cl⁻/l niet beschikbaar zijn.

Vergeleken met de resultaten uit het prototype blijkt dat bij $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ de verzilting tot voorbij de Volkeraksluizen reikt, ca. $200 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ * aan het wateroppervlak in het prototype en tot $1800 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ aan de bodem in het Getijmodel beide bij hoogwaterstroomkentering.

Bij $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ reikt de zoutindringing in het prototype (vermoedelijk) niet verder dan tot Tiengemeten. In het Getijmodel wordt de verzilting tot net voorbij Tiengemeten geconstateerd. Bij $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ reikt de punt van de zouttong zowel in het Getijmodel als in het prototype net voorbij Middelharnis (uitmonding Spui).

Zowel bij $Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ als bij $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ verzilt het Spui.

Bij $Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt in het Getijmodel in het Spui geen verzilting geconstateerd. Zekerheid dat het Spui ook in het prototype niet verzilt is niet te geven omdat in deze omstandigheid de onzekerheden in de proefomstandigheden (richting en grootte van de rivierafvoer door het Spui) en de modeleigenschappen (laag Reynoldsgetal, de spiegeling en het labyrinth) het meetresultaat in het Getijmodel te sterk beïnvloeden.

* dit is de verzilting minus de verzilting van de Bovenrijn $150 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ resp. $250 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ (vastgesteld in twee verschillende meetperioden)

7 Aanbevelingen

De resultaten van de onderzoeksgevallen Haringvlietsluizen "open" bevatten een aantal open einden en onzekerheden. Bij een eventuele vervolgstudie is t.a.v. de volgende punten nader onderzoek gewenst.

waterbeweging

- Een verbetering/aanpassing van de ruwheden aan de zuidrand.
Wellicht kan ZWENDL hiertoe worden geijkt met behulp van prototype gegevens van voor de ingebruikname van de Haringvlietsluizen.
- Een verbetering in de onderlinge verhoudingen van de zeerandvoorwaarden van Hoek van Holland en Zeegat van Goeree, mede als functie van de rivierafvoer.
Wellicht kan in ZWENDL de zeerandvoorwaarde niet opgedrukt worden bij Hoek van Holland maar in een punt waar evenals bij Zeegat van Goeree de middenstand onafhankelijk is van de rivierafvoer.
- De zoutindringing langs de zuidrand in ZWENDL zo goed mogelijk op orde brengen, opdat de invloed van het dichtheidsverschil tussen zoet en zout water op de waterbeweging juist wordt weergegeven.
Een eerste schatting van de zoutindringing kan worden ontleend aan de resultaten van de proeven in het Getijmodel.

Deze aanpassingen/verbeteringen zullen leiden tot een beter inzicht in de verdeling van de rivierafvoer en in de getijvoortplanting.

zoutindringing

Bij de onderzoeksgevallen Haringvlietsluizen "open" wordt de modelrand aan de monding van het Haringvliet debietgestuurd. De debieten worden aan ZWENDL ontleend. Gevolg hiervan is dat fouten in ZWENDL zich voortplanten in het Getijmodel. Met name aan de noordrand worden hierdoor onnodig een aantal onzekerheden geïntroduceerd. Meer nauwkeurige uitspraken over de zoutindringing langs de noordrand kunnen gedaan worden op basis van de verbeterde waterbeweging zoals hierboven aangegeven en door middel van nader onderzoek in het Getijmodel.

Om tot betere kwantitatieve inzichten te komen in de zoutindringing langs de zuidrand is een aanzienlijke aanpassing van het Getijmodel gewenst. Hierbij

moet gedacht worden aan het geometrisch op juiste wijze weergeven van het Haringvliet en Hollandsch Diep en het aanbrengen van een goede randvoorwaardevoorziening ter plaatse van de Haringvlietsluizen of het Zeegat van Goeree. Om tot goede keuze over deze randvoorwaardenvoorziening te kunnen komen is kennis over de "mengende werking" van de sluizen gewenst. Daarnaast zal er nadere studie verricht moeten worden naar de schaaleardeffekten en ruwheidselementen op het Haringvliet/Hollandsch Diep.

Toepassing van een wiskundig model als het 2-D_v (vertikaal-horizontaal) model DISTRO lijkt voor het Haringvliet/Hollandsch Diep met zijn geulenpatronen en ondieptes minder geschikt.

Lijst van belangrijke symbolen

Symbool	Omschrijving	Dimensie
\hat{A}_M	Amplitude dubbeldaagse component van het vertikaal getij	[L]
b	Breedte van het estuarium	[L]
B	Stroomvoerende breedte	[L]
C	Coëfficiënt van Chézy	$[L^{1/2}T^{-1}]$
d	Waterdiepte boven overlaat	[L]
E_M	Energie benodigd om een mootje water van $d \cdot 1 \cdot 1 \text{ m}^3$ op te mengen	$[MT^{-2}]$
Fr_i	Intern Froude getal	[-]
g	Versnelling zwaartekracht	$[LT^{-2}]$
h	Waterdiepte	[L]
ΔH	Waterstandsverschil	[L]
i	Verhang	[-]
n_x	Schaalfactor van x	[-]
p	Druk	$[ML^{-1}T^{-2}]$
P	Vermogen	$[ML^2T^{-3}]$
Q	Rivierafvoer	$[L^3T^{-1}]$
Q _{br}	Bovenrijnafvoer te Lobith	$[L^3T^{-1}]$
\hat{Q}_M	Amplitude dubbeldaagse component van het horizontaal-getij	$[L^3T^{-1}]$
R	Hydraulische straal	[L]
Ri_E	Estuarium-Richardson getal	[-]
Re	Getal van Reynolds	[-]
u	Stroomsnelheid	$[LT^{-1}]$
u_t	Karakteristieke profielgemiddelde stroomsnelheid van de getijbeweging	$[LT^{-1}]$
x	Ordinaat (horizontaal)	[L]
z	Afstand tot bodem	[L]
ρ	Dichtheid van water	$[ML^{-3}]$
$\Delta \rho$	Dichtheidsverschil tussen rivier- en zeewater	$[ML^{-3}]$

Literatuur

- [1] "Grondslagen waterhuishoudkundig onderzoek ten behoeve van het Noordelijk Deltabekken in het Getijmodel Rijnmond".
Verslag onderzoek.
Waterloopkundig Laboratorium, M1350-XI, mei 1981.
- [2] Abraham, G.
"Reference notes on density currents and transport processes"
International course in hydraulic engineering, Delft 1982-1983.
- [3] "Waterloopkundig systeemonderzoek Noordelijk Deltabekken"
Openstellen en afsluiten van havens en takken (deel 1)
Waterloopkundig Laboratorium, M1977/Z60, december 1986.
- [4] "Onderzoekingen betreffende de opzet van het Deltaplan en de gevolgen van de werken"
Rapport van de Deltakommissie, bijdragen deel 5.
Staatsdrukkerij- en uitgeversbedrijf - 's-Gravenhage.
- [5] "Getijvoortplanting op het Noordelijk Deltabekken en de beïnvloeding door opperwaterafvoer"
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging
District Zuidwest, notanummer 31.004.05 deel I, oktober 1981.
- [6] "Analyse prototype metingen 1979 en aanzet systeemonderzoek"
Getijvoortplanting Noordelijk Deltabekken bij een zuivere doottij springtij cyclus als randvoorwaarde te Hoek van Holland.
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging
District Zuidwest, notanummer 31.004.05 deel VI, oktober 1984.
- [7] "Waterloopkundig Systeemonderzoek Noordelijk Deltabekken"
gevoeligheidsonderzoek randvoorwaarden
Verslag modelonderzoek
Waterloopkundig Laboratorium, M1923, januari 1985.

Literatuur (vervolg)

- [8] "Waterloopkundig Systeemonderzoek Noordelijk Deltabekken"
Lozingen/onttrekkingen en afvoervertrekkingen, deel I
Waterloopkundig Laboratorium, M2030, december 1985.
- [9] Drie maandelijks bericht Deltawerken
nummer 51, feb. 1970
nummer 60, mei 1972
Deltadienst
- [10] Kranenburg, C.
"Dichtheidsstromen"
Handleiding college b81, TU Delft, sept. 1985.
- [11] Verkennend onderzoek randvoorwaarden ten behoeve van het systeemonderzoek Noordelijk Deltabekken
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging Distrikt Zuidwest, Notanummer 31.004.40.
- [12] IJking Waterbewegings deel van model ZWENDL voor normale getijomstandigheden, hoge afvoeren en stormen
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Distrikt Zuidwest, notanummer 13.003.08, maart 1984.
- [13] "Getijtafels voor Nederland"
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage
- [14] M. de Vries
Inleiding vloeistofmechanica
Handleiding college b71, TU Delft, december 1979.
- [15] M. de Vries
Waterloopkundig onderzoek
Handleiding college b80, TU Delft, juli 1977.

Literatuur (vervolg)

- [16] "Inregeling, ijking en verifikatie van de waterbeweging en zoutverdeling in het Getijmodel Rijnmond"
Verslag onderzoek
Waterloopkundig Laboratorium, M2000-3, mei 1984.
- [17] "Onderzoek naar menging door scheepvaart in Westsluis van het Volkeraksluizencomplex"
Waterloopkundig Laboratorium, Rijkswaterstaat Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Distrikt Zuidwest, M896-55 WL; WWZW-43.004.01 RWS. februari 1985.
- [18] B.P. Rigter
Density induced return currents in outlet channels
Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 96, HY2, 1970.
- [19] Reproductie zouttoestand getijrivieren XVIII
Verandering in zoutpenetratie bij middenstandsverhoging en verandering van vertikaal getij op zee .
Waterloopkundig Laboratorium M896-XVIII, februari 1977.
- [20] "Analyse prototype metingen 1979 en aanzet systeemonderzoek"
Gevolgen voor de waterbeweging en zoutbeweging op het Noordelijk Deltabekken van diverse ingrepen.
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Distrikt Zuidwest, notanummer 31.004.05 deel V, januari 1983.

Q _{BR} te Lobith	WAAL te Tiel	NEDERRIJN te Hagestein	MAAS (50%) te Lith
600	480	15	35
700	555	15	50
800	630	15	65
900	705	15	80
1.000	780	15	95
1.100	855	15	105
1.200	930	15	120
1.300	1.000	15	130
1.340	1.030	15	135
1.400	1.060	50	145
1.500	1.105	105	155
1.600	1.155	155	170
1.700	1.210	200	185
1.800	1.265	240	195
1.900	1.320	280	210
2.000	1.375	315	225
2.100	1.435	345	245
2.200	1.500	370	260
2.300	1.560	395	280
2.400	1.625	415	300
2.500	1.695	435	325
2.600	1.760	460	350
2.700	1.820	485	375
2.800	1.890	505	405
2.900	1.955	525	430
3.000	2.020	550	460
3.200	2.150	595	520
3.400	2.285	635	570
3.500	2.350	655	595
3.600	2.415	680	620
3.800	2.545	725	665
4.000	2.680	765	700

tabel 1 Afvoerverdeling

boven-afvoer [m ³ /s]	midden-stand [m]	I HUIDIGE SITUATIE	II SPUI MANIPULATIE	III 100% OPEN	IV 50% OPEN
1100		proef A ZWEN 900 Z0171P997	proef C SPUI 485 m ³ /s ZWEN 918 Z0171P002	proef F ZWEN 943 Z0171P039	proef / ZWEN 951
1700		proef B ZWEN901 Z0171P001	proef D SPUI 485 m ³ /s ZWEN 924 Z0171P003	proef G ZWEN 944 Z0171P044	proef H ZWEN947 Z0171P037
1700			proef E SPUI 1105 m ³ /s ZWEN 919 Z0171P004		
3000		proef K NORMAAL SPUIEN ZWEN 931 Z0171P012	proef L DICHTHOUDEN ZWEN 902 Z0171P010	proef M ZWEN 945N Z0171P041	proef N ZWEN 948N Z0171P042
1700	0.50 m 50 uur Springtij	proef I ZWEN930 Z0171P030		proef J ZWEN946 Z0171P032	
Getij : Meireeks 1979 Onttrekkingen: Gouda 30 m ³ /s Volkerak 50 m ³ /s					

Toelichting : Naam proef
 Commentaar
 nr. ZWENDL som
 nr. GEMO proef

tabel 2
 Onderzoeksprogramma "Manipulaties Haringvlietsluizen"

		I		II		III		IV	
Proef		A		C		F		/	
Plaats		a	ϕ	a	ϕ	a	ϕ	a	ϕ
BEME 976.250 Dordrecht	Â0	0,24	-	0,11	-	0,15	-	0,14	-
	ÂM2	0,27	106	0,29	107	0,72	123	0,56	123
	ÂM4	0,08	176	0,08	-178	0,12	-173	0,10	-171
Bome 961.000 Werkendam	Â0	0,38	-	0,22	-	0,37	-	0,31	-
	ÂM2	0,15	151	0,19	150	0,67	152	0,53	152
	ÂM4	0,06	-120	0,05	-116	0,13	-127	0,11	-125
Havl 1029.125 Havl.sl.	Â0	0,29	-	0,10	-	0,02	-	0,04	-
	ÂM2	0,13	-169	0,13	-174	0,58	62	0,33	79
	ÂM4	0,03	-33	0,02	-33	0,15	64	0,10	60
Hodi 983.875 Moerdijk	Â0	0,29	-	0,10	-	0,14	-	0,13	-
	ÂM2	0,10	-172	0,12	175	0,71	121	0,53	127
	ÂM4	0,01	-123	0,01	-131	0,11	173	0,08	-177
Lek 988.875 Krimpen	Â0	0,10	-	0,04	-	0,08	-	0,07	-
	ÂM2	0,60	94	0,60	94	0,72	111	0,65	106
	ÂM4	0,14	156	0,12	161	0,11	178	0,11	170
Nima 999.250 R'dam	Â0	0,08	-	0,03	-	0,07	-	0,06	-
	ÂM2	0,75	79	0,74	78	0,78	90	0,75	86
	ÂM4	0,18	137	0,16	140	0,13	145	0,14	141
Nima 1012.750 Vlaardin	Â0	0,02	-	-0,02	-	0,00	-	0,00	-
	ÂM2	0,75	68	0,74	68	0,76	76	0,74	74
	ÂM4	0,16	123	0,15	126	0,13	131	0,13	127
OUMA 980.501 Zwijndr.	Â0	0,24	-	0,11	-	0,14	-	0,13	-
	ÂM2	0,25	107	0,27	108	0,71	120	0,55	121
	ÂM4	0,08	173	0,07	178	0,11	178	0,10	-178
OUMA 995.501 Beerenpl.	Â0	0,11	-	0,02	-	0,04	-	0,03	-
	ÂM2	0,53	82	0,53	81	0,71	94	0,62	92
	ÂM4	0,12	140	0,11	144	0,11	155	0,10	150
OUMA 1003.500 Spijken.	Â0	0,05	-	-0,01	-	0,01	-	0,01	-
	ÂM2	0,69	72	0,68	72	0,73	83	0,70	80
	ÂM4	0,15	129	0,14	133	0,12	142	0,12	137
Spui 1007.250 Zuidland	Â0	0,24	-	0,09	-	0,05	-	0,05	-
	ÂM2	0,14	123	0,16	119	0,63	91	0,45	100
	ÂM4	0,02	130	0,03	140	0,11	111	0,08	113
Wawe 1030.145 H.v.H.	Â0	-0,07	-	-0,07	-	-0,04	-	-0,04	-
	ÂM2	0,82	44	0,82	44	0,82	44	0,82	44
	ÂM4	0,18	77	0,18	77	0,18	77	0,18	77

tabel 3 Qbr = 1100 m³/s Vertikaal getij

		I		II		II		III		IV	
Proef		B		D		E		G		H	
Plaats		a	ϕ	a	ϕ	a	ϕ	a	ϕ	a	ϕ
Beme	Â0	0,38	-	0,26	-	0,10	-	0,21	-	0,22	-
976.250	ÂM2	0,27	107	0,29	108	0,32	110	0,71	124	0,56	124
Dordrecht	ÂM4	0,09	176	0,09	-180	0,07	-171	0,12	-173	0,11	-171
Bome	Â0	0,58	-	0,44	-	0,26	-	0,50	-	0,45	-
961.000	ÂM2	0,13	153	0,17	152	0,22	152	0,63	152	0,49	153
Werkendam	ÂM4	0,06	-123	0,06	-120	0,05	-116	0,14	-130	0,12	-127
Havl	Â0	0,45	-	0,26	-	0,02	-	0,05	-	0,09	-
1029.125	ÂM2	0,12	-167	0,13	-172	0,13	177	0,57	63	0,32	81
Havl.sl.	ÂM4	0,03	-35	0,03	-32	0,02	-43	0,16	62	0,11	56
Hodi	Â0	0,45	-	0,27	-	0,03	-	0,19	-	0,20	-
983.875	ÂM2	0,10	-171	0,12	177	0,15	163	0,71	122	0,53	128
Moerdijk	ÂM4	0,01	-122	0,01	-133	0,01	-126	0,11	173	0,09	-178
Lek	Â0	0,20	-	0,14	-	0,07	-	0,17	-	0,17	-
988.875	ÂM2	0,60	97	0,60	96	0,60	96	0,72	112	0,65	108
Krimpen	ÂM4	0,15	155	0,13	159	0,11	167	0,10	176	0,10	171
Nima	Â0	0,14	-	0,10	-	0,05	-	0,14	-	0,14	-
999.250	ÂM2	0,75	81	0,75	80	0,74	79	0,78	91	0,75	87
R'dam	ÂM4	0,18	135	0,17	137	0,15	140	0,13	142	0,14	139
Nima	Â0	0,07	-	0,03	-	-0,02	-	0,05	-	0,06	-
1012.750	ÂM2	0,75	69	0,75	69	0,74	68	0,76	77	0,74	74
Vlaardin.	ÂM4	0,17	120	0,16	121	0,15	125	0,13	128	0,13	125
OUMA	Â0	0,38	-	0,25	-	0,09	-	0,20	-	0,21	-
980.501	ÂM2	0,25	109	0,27	109	0,30	110	0,71	121	0,55	122
Zwijndr.	ÂM4	0,08	172	0,08	176	0,07	-177	0,12	178	0,11	-177
OUMA	Â0	0,19	-	0,11	-	0,00	-	0,09	-	0,10	-
995.501	ÂM2	0,54	84	0,54	83	0,53	82	0,71	95	0,62	93
Beerenpl.	ÂM4	0,13	138	0,12	140	0,10	145	0,11	154	0,10	149
OUMA	Â0	0,10	-	0,06	-	-0,02	-	0,06	-	0,07	-
1003.500	ÂM2	0,70	74	0,69	73	0,68	73	0,73	83	0,70	80
Spijken.	ÂM4	0,16	125	0,14	128	0,13	133	0,12	140	0,12	135
Spui	Â0	0,39	-	0,23	-	0,03	-	0,09	-	0,12	-
1007.250	ÂM2	0,14	126	0,16	122	0,19	117	0,63	92	0,45	101
Zuidland	ÂM4	0,02	127	0,03	132	0,03	149	0,11	109	0,08	111
Wawe	Â0	-0,07	-	-0,07	-	-0,07	-	-0,01	-	-0,01	-
1030.145	ÂM2	0,82	44	0,82	44	0,82	44	0,82	44	0,82	44
H.v.H.	ÂM4	0,18	77	0,18	77	0,18	77	0,18	77	0,18	77

tabel 4 Qbr = 1700 m³/s Vertikaal getij

		I		II		III		IV	
Proef		K		L		M		N	
Plaats		a	ϕ	a	ϕ	a	ϕ	a	ϕ
Beme 976.250 Dordrecht	$\hat{A}0$	0,34	-	0,69	-	0,34	-	0,38	-
	$\hat{A}M2$	0,34	112	0,25	110	0,71	124	0,56	124
	$\hat{A}M4$	0,11	-174	0,10	175	0,14	-175	0,14	-172
Bome 961.000 Werkendam	$\hat{A}0$	0,69	-	1,07	-	0,80	-	0,78	-
	$\hat{A}M2$	0,17	161	0,09	165	0,52	157	0,39	161
	$\hat{A}M4$	0,04	-113	0,04	-122	0,13	-125	0,10	-119
Havl 1029.125 Havl.sl.	$\hat{A}0$	0,28	-	0,82	-	0,11	-	0,21	-
	$\hat{A}M2$	0,12	176	0,10	-164	0,55	64	0,30	84
	$\hat{A}M4$	0,02	-27	0,03	-39	0,16	58	0,12	51
Hodi 983.875 Moerdijk	$\hat{A}0$	0,30	-	0,83	-	0,29	-	0,33	-
	$\hat{A}M2$	0,15	162	0,08	-168	0,71	123	0,52	130
	$\hat{A}M4$	0,02	-140	0,01	-115	0,13	173	0,11	-174
Lek 988.875 Krimpen	$\hat{A}0$	0,24	-	0,41	-	0,30	-	0,31	-
	$\hat{A}M2$	0,62	98	0,60	100	0,73	112	0,67	108
	$\hat{A}M4$	0,14	165	0,17	158	0,12	176	0,13	173
Nima 999.250 R'dam	$\hat{A}0$	0,15	-	0,25	-	0,23	-	0,24	-
	$\hat{A}M2$	0,76	83	0,75	85	0,80	92	0,77	89
	$\hat{A}M4$	0,16	140	0,19	137	0,13	144	0,14	143
Nima 1012.750 Vlaardin.	$\hat{A}0$	0,07	-	0,15	-	0,13	-	0,14	-
	$\hat{A}M2$	0,76	71	0,78	73	0,77	78	0,75	75
	$\hat{A}M4$	0,15	122	0,18	120	0,12	128	0,13	125
OUMA 980.501 Zwijndr.	$\hat{A}0$	0,32	-	0,68	-	0,31	-	0,35	-
	$\hat{A}M2$	0,31	112	0,23	113	0,71	121	0,44	103
	$\hat{A}M4$	0,10	-179	0,09	171	0,14	177	0,09	110
OUMA 995.501 Beerenpl.	$\hat{A}0$	0,16	-	0,37	-	0,19	-	0,21	-
	$\hat{A}M2$	0,56	86	0,55	88	0,73	96	0,64	94
	$\hat{A}M4$	0,12	144	0,14	140	1,12	154	0,11	151
OUMA 1003.500 Spijken.	$\hat{A}0$	0,09	-	0,21	-	0,14	-	0,16	-
	$\hat{A}M2$	0,71	75	0,72	78	0,75	84	0,72	81
	$\hat{A}M4$	0,14	129	0,17	126	0,12	140	0,12	134
Spui 1007.250 Zuidland	$\hat{A}0$	0,25	-	0,73	-	0,18	-	0,24	-
	$\hat{A}M2$	0,19	121	0,12	130	0,63	93	0,44	103
	$\hat{A}M4$	0,03	140	0,02	134	0,11	108	0,09	110
Wave 1030.145 H.v.H.	$\hat{A}0$	-0,07	-	-0,07	-	0,02	-	0,02	-
	$\hat{A}M2$	0,82	44	0,82	44	0,82	44	0,82	44
	$\hat{A}M4$	0,18	77	0,18	77	0,18	77	0,18	77

tabel 5 Qbr = 3000 m³/s Vertikaal getij

tabel 6 Qbr = 1100 m³/s Horizontaal getij

		I		II		III		IV	
Proef		A		C		F		/	
Plaats		a	φ	a	φ	a	φ	a	φ
Wawe	Q0	- 914	-	- 410	-	- 417	-	- 388	-
1030.145	QM2	5880	25	5860	24	7225	18	6775	21
	QM4	1750	71	1685	72	1670	75	1620	74
Wawe	Q0	- 908	-	- 425	-	- 412	-	- 383	-
1012.750	QM2	5240	37	5220	37	6330	27	6000	32
	QM4	1525	90	1460	91	1480	91	1430	92
Nima	Q0	- 282	-	- 133	-	- 170	-	- 144	-
1012.750	QM2	3000	20	2970	20	3640	21	3390	22
	QM4	1040	71	980	74	910	82	900	78
Ouma	Q0	- 626	-	- 291	-	- 243	-	- 239	-
1006.500	QM2	2525	58	2530	57	2735	35	2720	44
	QM4	640	123	605	120	600	105	595	113
Ouma	Q0	- 623	-	- 289	-	- 241	-	- 238	-
997.750	QM2	2230	81	2225	80	1845	51	2045	63
	QM4	490	162	420	157	310	128	367	144
Ouma	Q0	- 436	-	- 213	-	- 155	-	- 174	-
995.500	QM2	1495	81	1510	80	1800	45	1670	56
	QM4	320	158	290	153	430	120	380	128
Spuil	Q0	- 187	-	- 75	-	- 85	-	- 64	-
955.500	QM2	735	85	720	84	225	139	430	96
	QM4	185	177	140	174	155	- 86	125	-123
Havl.	Q0	-	-	- 485	-	- 515	-	- 533	-
1029.125	QM2	-	-	530	36	13565	22	9455	28
	QM4	-	-	40	100	3090	59	2070	67

		I		II		III		IV	
Proef		A		C		F		/	
Plaats		a	φ	a	φ	a	φ	a	φ
Bama	Q0	- 370	-	- 304	-	- 418	-	- 378	-
976.250	QM2	620	90	650	87	1120	67	950	70
	QM4	220	176	205	179	390	152	330	155
Doki	Q0	- 351	-	- 46	-	+ 84	-	+ 50	-
989.625	QM2	1811	108	1770	108	105	119	715	106
	QM4	475	- 144	360	- 145	140	- 68	156	-117
Havl.	Q0	- 187	-	- 557	-	- 576	-	- 581	-
± 1000	QM2	765	-72	660	- 45	7970	44	5615	45
	QM4	440	75	350	77	2345	116	1815	118
Hodl	Q0	- 589	-	- 655	-	- 537	-	- 577	-
979.875	QM2	425	124	520	103	4435	60	3340	65
	QM4	215	131	165	131	1485	144	1140	146
Nima	Q0	- 277	-	- 130	-	- 165	-	- 139	-
993.751	QM2	1810	59	1795	58	2055	47	1985	51
	QM4	490	129	460	131	480	127	470	130
Nime	Q0	- 484	-	- 550	-	- 435	-	- 474	-
979.875	QM2	200	- 25	210	- 6	1640	57	1190	58
	QM4	135	120	115	121	615	149	480	147
Nord	Q0	- 289	-	- 140	-	- 180	-	- 154	-
985.500	QM2	990	95	980	94	735	50	811	68
	QM4	240	-178	205	179	185	132	195	-151
Ouma	Q0	- 434	-	- 211	-	- 154	-	- 173	-
980.501	QM2	1490	94	1495	92	1395	57	1400	69
	QM4	375	- 177	315	-179	305	142	305	152

tabel 7 Qbr = 1700 m³/s Horizontaal getij

		I		II		II		III		IV				I		II		II		III		IV	
Proef		B		D		E		G		H		Proef		B		D		E		G		H	
Plaats		a	φ	a	φ	a	φ	a	φ	a	φ	Plaats		a	φ	a	φ	a	φ	a	φ	a	φ
Wave 1030.145	Q0	-1535	-	-1040	-	- 410	-	- 580	-	- 615	-	Esme 976.250	Q0	-545	-	-490	-	-436	-	-565	-	-514	-
	QM2	5940	25	5945	25	5950	24	7285	19	6840	22		QM2	540	87	585	85	640	84	1030	67	880	72
	QM4	1810	72	1735	73	1650	74	1690	75	1650	75		QM4	220	169	220	173	200	180	390	147	330	154
Wave 1012.750	Q0	-1535	-	-1033	-	- 410	-	- 580	-	- 615	-	Dok1 989.625	Q0	-520	-	-200	-	208	-	+229	-	+145	-
	QM2	5290	37	5310	37	5305	36	6400	28	6070	32		QM2	1800	110	1800	110	1710	108	170	101	760	104
	QM4	1600	91	1535	92	1455	93	1420	92	1490	93		QM4	540	-142	438	-143	290	-147	140	-66	140	-113
Nima 1012.750	Q0	- 577	-	- 420	-	- 230	-	- 310	-	- 300	-	Havl ± 1000	Q0	-277	-	-652	-	-1114	-	-1010	0	-970	-
	QM2	3040	21	3020	21	3010	20	3680	22	3430	23		QM2	730	-70	665	-43	770	-8	7970	44	5590	45
	QM4	1090	73	1030	75	950	78	920	84	920	81		QM4	480	74	430	78	250	75	2530	114	2010	115
Ouma 1006.500	Q0	- 950	-	-614	-	- 195	-	- 265	-	- 308	-	Hodi 979.875	Q0	-850	-	-903	-	-957	-	-826	-	-876	-
	QM2	2515	57	2550	57	2550	55	2760	35	2750	44		QM2	460	123	550	104	710	88	4420	59	3300	64
	QM4	670	123	640	121	590	118	620	104	620	112		QM4	200	135	190	135	110	137	1580	141	1220	141
Ouma 997.750	Q0	- 947	-	- 611	-	- 196	-	- 263	-	- 315	-	Nima 993.751	Q0	-573	-	-415	-	-224	-	-310	-	-300	-
	QM2	2180	81	2225	80	2210	78	1865	51	2070	63		QM2	1820	60	1820	59	1815	58	2100	47	2020	52
	QM4	535	163	485	160	400	153	330	127	390	142		QM4	580	130	550	131	510	132	530	128	530	130
Ouma 995.500	Q0	- 669	-	- 451	-	- 178	-	- 200	-	- 245	-	Nime 979.875	Q0	-665	-	-719	-	-773	-	-643	-	-693	-
	QM2	1445	80	1490	80	1505	77	1800	45	1680	56		QM2	135	-21	165	0	215	17	1570	55	1105	55
	QM4	345	159	330	156	295	151	450	118	410	126		QM4	130	115	125	118	95	117	647	142	490	139
Spul 955.500	Q0	- 277	-	- 160	-	- 17	-	- 63	-	- 62	-	Nord 985.000	Q0	-399	-	-241	-	-52	-	-135	-	-127	-
	QM2	740	86	735	85	705	84	235	136	445	96		QM2	970	97	980	95	960	93	735	51	820	70
	QM4	210	169	175	177	115	171	160	- 89	135	-124		QM4	250	-176	220	-179	180	176	185	124	185	144
Havl. 1029.125	Q0	0	-	- 485	-	-1105	-	- 972	-	- 926	-	Ouma 980.501	Q0	-668	-	-450	-	-177	-	-200	-	-244	-
	QM2	0	0	510	36	1245	36	13615	22	9470	29		QM2	1428	94	1465	92	1470	90	1395	57	1400	69
	QM4	0	0	65	87	60	117	3230	60	2240	66		QM4	410	-176	370	-178	300	178	320	139	320	149

tabel 8 Qbr = 3000 m³/s Horizontaal getij

		I		II		III		IV				I		II		III		IV					
Proef		K		L		M		N		Proef		K		L		M		N					
Plaats		a	φ	a	φ	a	φ	a	φ	Plaats		a	φ	a	φ	a	φ	a	φ				
Wave	Q0	-1498	-	-2968	-			-1070	-	-1239	-	Beme	Q0	-841	-	-921	-			-897	-	-859	-
1030.145	QM2	6095	24	5970	23			7350	19	6905	22	976.250	QM2	475	80	350	83			860	69	725	74
	QM4	1830	76	2030	73			1840	77	1835	73		QM4	190	161	173	152			345	143	305	150
Wave	Q0	-1491	-	-2961	-			-1065	-	-1234	-	Doki	Q0	+22	-	-995	-			+405	-	+240	-
1012.750	QM2	5410	36	5205	35			6460	28	6120	32	989.625	QM2	1760	110	1630	112			330	93	890	102
	QM4	1670	94	1810	91			1700	93	1700	94		QM4	460	-143	630	-140			155	-85	195	-118
Nima	Q0	-760	-	-1213	-			-639	-	-677	-	Havl	Q0	-1606	-	-511	-			-1938	-	-1807	-
1012.750	QM2	3070	20	3055	21			3700	22	3450	23	± 1000	QM2	905	2	630	-65			7900	43	5485	44
	QM4	1110	79	1230	75			1040	85	1060	84		QM4	430	85	460	70			2860	111	2330	111
Ouma	Q0	-730	-	-1749	-			-425	-	-557	-	Hodi	Q0	-1637	-	-1557	-			-1580	-	-1617	-
1006.500	QM2	2590	55	2355	53			2800	36	2780	44	979.875	QM2	830	85	450	120			4385	59	3260	63
	QM4	670	121	720	120			680	104	690	111		QM4	210	158	170	164			1710	137	1345	139
Ouma	Q0	-728	-	-1746	-			-424	-	-556	-	Nima	Q0	-756	-	-1208	-			-635	-	-672	-
997.750	QM2	2190	78	1905	79			1890	52	2080	64	993.751	QM2	1760	57	1700	59			2060	47	1970	52
	QM4	500	157	548	161			360	124	440	138		QM4	635	125	675	126			630	122	645	124
Ouma	Q0	-590	-	-1235	-			-376	-	-466	-	Nime	Q0	-1177	-	-1097	-			1122	-	-1160	-
995.500	QM2	1455	76	1220	78			1795	45	1650	56	979.875	QM2	200	52	45	40			1420	54	990	57
	QM4	355	150	340	152			505	114	465	122		QM4	94	130	85	121			620	135	460	135
Spui	Q0	-138	-	-510	-			-47	-	-90	-	Nord	Q0	-232	-	-684	-			-115	-	-153	-
955.500	QM2	740	87	683	88			270	130	490	97	985.000	QM2	970	93	895	98			770	58	860	74
	QM4	165	-179	240	-178			175	-95	155	-126		QM4	240	176	275	-172			180	123	195	145
Havl.	Q0	-1466	-	-	-			-1918	-	-1736	-	Ouma	Q0	-588	-	-1234	-			-375	-	-465	-
1029.125	QM2	1520	36	-	-			13650	22	9400	29	980.501	QM2	1390	90	1175	94			1360	57	1355	70
	QM4	200	88	-	-			3530	61	2580	66		QM4	365	178	395	-177			345	133	345	145

Boven-afvoer	$Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$			$Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$			$Q_{br} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$					
Proef	A	C	F	B	D	E	G	H	K	L	M	N
Wawe												
1029.000	13950	14450	14000	12200	12950	14250	13150	13450	11850	8200	11600	11100
1018.750	9450	11100	9300	6600	8850	11000	8450	8700	6350	3100	5850	5600
1015.000	7500	9350	8350	4200	6800	9450	7250	7450	4150	650	4600	3950
Nima												
1011.000	4950	7650	6800	1050	4100	7500	5600	5600	900	-	1800	1200
1006.750	3500	6200	5150	250	2850	6000	3700	3800	100	-	350	100
1002.500	1650	5000	3600	-	850	4850	1850	2000	-	-	50	-
999.375	550	3000	2000	-	150	2450	850	800	-	-	-	-
995.125	100	1800	1050	-	50	1150	300	300	-	-	-	-
Holl. IJ.												
18.000	-	400	100	-	-	100	-	-	-	-	-	-
3.000	-	?	50	-	-	?	-	-	-	-	-	-
Noord												
980.750	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
Ouma												
1005.625	3500	7100	5650	950	2950	7300	4350	4600	1300	-	1600	1250
1002.111	2000	5650	4500	300	1650	6300	3150	3350	600	-	650	500
996.100	400	3150	1650	-	250	4100	700	850	50	-	-	-
993.800	-	1650	600	-	-	2450	100	100	-	-	-	-
983.750	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
Spui												
998.000	-	1200	1850	-	-	2600	650	300	-	-	-	-
1007.125	-	-	2000	-	-	500	450	100	-	-	-	-

tabel 9
Verziltingsoppervlakken

		$Q_{dr} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ Proef F			$Q_{dr} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ Proef G			$Q_{dr} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ Proef M		
Meetpunt		Max	Gem	Min	Max	Gem	Min	Max	Gem	Min
Haringvliet monding	NAP - 3.00 m	15950	10750	6150	14800	7200	2550	13300	4100	500
	NAP -10,50 m	16650	12150	7100	15850	9300	3500	14750	6450	850
Aardappel gat	NAP - 3.00 m	13950	7800	4800				9300	1850	150
	NAP - 9.00 m	14750	10800	6950				10800	4450	450
Slijkplaat	NAP - 3.00 m	13950	7000	3350	11250	4000	850	7700	1450	0
	NAP -10.50 m	15450	11450	7500	13950	8850	3050	11500	3950	0
Korendiep										
	NAP - 4.50 m	6100	3150	1950	2300	700	350	200	100	0
Middelharnis	NAP - 3.00 m	8300	4450	1950	4500	1850	300	1450	450	0
	NAP -10.50 m	9800	5850	3100	5300	2350	350	2000	550	0
Stad a/h Haring- vliet (links)	NAP - 3.00 m	6950	3250	1200	3200	1150	50	850	200	0
	NAP -10.50 m	8600	5700	3650	3800	1800	350	1000	300	0
Stad a/h Haring- vliet (rechts)	NAP - 3.00 m	6150	2800	1450	2650	700	150	150	0	0
	NAP -10.50 m	7350	5850	4000	3450	1500	450	600	100	0
Den Bommel	NAP - 3.00 m	3150	1550	950	700	150	0	0	0	0
	NAP -10.50 m	3500	2200	1450	800	200	0	0	0	0
Vuilegat										
	NAP -12.00 m	5600	3600	1850	2200	650	0	350	50	0
Ventje Jager (rechts)										
	NAP - 6.00 m	2550	1350	950	0	0	0	0	0	0
Ventje Jager (links)										
	NAP -17.50 m	3700	2600	1200	700	100	0	0	0	0
Volkerak										
	NAP - 17.50	2600	1500	700	0	0	0	0	0	0
Noordschans										
	NAP - 7.50 m	800	150	0	0	0	0	0	0	0

tabel 10 Maximum, gemiddelde en minimum chloride gehalten in $\text{mg Cl}^-/\text{l}$
bij Haringvlietsluizen 100% open

Meetpunt		Q _{br} = 1700 m ³ /s Proef H			Q _{br} = 3000 m ³ /s Proef N		
		Max	Gem	Min	Max	Gem	Min
Haringvliet mondning	NAP - 3.00 m	8550	2000	800	5100	550	0
	NAP -10,50 m	13300	4450	1000	10500	2050	0
Aardappel gat	NAP - 3.00 m	2350	1150	550	?	?	?
	NAP - 9.00 m	8850	4700	1100	?	?	?
Slijkplaat	NAP - 3.00 m	1950	800	200	400	50	0
	NAP -10.50 m	6550	1950	300	500	100	0
Korendiep							
	NAP - 4.50 m	300	150	50	0	0	0
Middelharnis	NAP - 3.00 m	1200	400	50	300	50	0
	NAP -10.50 m	1700	550	50	400	50	0
Stad a/h Haring- vliet (links)	NAP - 3.00 m	900	300	0	100	0	0
	NAP -10.50 m	1300	450	0	100	0	0
Stad a/h Haring- vliet (rechts)	NAP - 3.00 m	300	100	0	0	0	0
	NAP -10.50 m	700	200	0	0	0	0
Den Bommel	NAP - 3.00 m	50	0	0	0	0	0
	NAP -10.50 m	50	0	0	0	0	0
Vuilegat							
	NAP -12.00 m	300	50	0	0	0	0
Ventje Jager (rechts)							
	NAP - 6.00 m	0	0	0	0	0	0
Ventje Jager (links)							
	NAP -17.50 m	0	0	0	0	0	0
Volkerak							
	NAP - 17.50	0	0	0	0	0	0
Noordschans							
	NAP - 7.50 m	0	0	0	0	0	0

tabel 11 Maximum, gemiddelde en minimum chloride gehalten in mg Cl⁻/l bij Haringvlietsluizen 50% open

proef plaats	QBR = 1100 m ³ /s					QBR = 1700 m ³ /s					QBR = 3000 m ³ /s				
	Ref A	100% F	F-A	50% /	/-A	Ref B	100% G	G-B	50% H	H-B	Ref K	100% M	M-K	50% N	N-K
WERKENDAM	45	41	- 4	35	-10	65	51	-14	46	-19	76	78	+2	76	0
DORDRECHT	31	19	-12	18	-13	45	22	-23	23	-22	41	32	-9	36	-5
MOERDIJK	36	18	-18	17	-19	52	20	-32	21	-31	37	27	-10	31	-6
HVSL rz.	36	6	-30	8	-28	52	6	-46	10	-42	35	9	-26	19	-16
ROTTERDAM	15	11	- 4	10	- 5	21	15	- 6	15	- 6	22	21	- 1	22	0
BEERENPLAAT	18	8	-10	7	-11	26	10	-16	11	-15	23	17	- 6	19	- 4

Tabel 12
Middenstandsverschil met Hoek van Holland

				Proef F			
Meetpunt :DEBIET		HAVLSOM		0 0		Proef 1:Z0171P039	
Meetpunt :MADEM		HAVL1029.125		030		Proef 2:ZWEN943	
K	OMEGA	AMP2	FASE2	AMP1	FASE1	A 2-1	F 2-1
A 0	0.0000	-514.7340	0.00	-454.6297	0.00	-60.1043	0.00
A 28	28.9933	13566.6777	21.74	13447.9443	23.30	118.7334	-1.57
A 56	57.9866	3087.8105	59.20	2996.8826	62.92	90.9280	-3.72

				Proef G			
Meetpunt :DEBIET		HAVLSOM		0 0		Proef 1:Z0171P044	
Meetpunt :MADEM		HAVL1029.125		030		Proef 2:ZWEN944	
K	OMEGA	AMP2	FASE2	AMP1	FASE1	A 2-1	F 2-1
A 0	0.0000	-972.6275	0.00	-905.4172	0.00	-67.2103	0.00
A 28	28.9933	13616.5352	21.99	13498.7646	23.71	117.7705	-1.72
A 56	57.9866	3227.7798	59.62	3133.9663	63.90	93.8135	-4.27

				Proef H			
Meetpunt :DEBIET		HAVLSOM		0 0		Proef 1:Z0171P037	
Meetpunt :MADEM		HAVL1029.125		030		Proef 2:ZWEN947	
K	OMEGA	AMP2	FASE2	AMP1	FASE1	A 2-1	F 2-1
A 0	0.0000	-926.1136	0.00	-857.3456	0.00	-68.7679	0.00
A 28	28.9933	9472.0410	28.52	9381.6543	30.24	90.3867	-1.72
A 56	57.9866	2242.1455	66.45	2180.2581	70.78	61.8875	-4.33

				Proef J			
Meetpunt :DEBIET		HAVLSOM		0 0		Proef 1:Z0171P032	
Meetpunt :MADEM		HAVL1029.125		030		Proef 2:ZWEN946	
K	OMEGA	AMP2	FASE2	AMP1	FASE1	A 2-1	F 2-1
A 0	0.0000	-974.0032	0.00	-910.3226	0.00	-63.6806	0.00
A 28	28.9933	13718.0869	21.86	13601.2344	23.45	116.8525	-1.59
A 56	57.9866	3240.0635	59.44	3138.1226	63.26	101.9409	-3.81

				Proef M			
Meetpunt :DEBIET		HAVLSOM		0 0		Proef 1:Z0171P041	
Meetpunt :MADEM		HAVL1029.125		030		Proef 2:ZWEN945N	
K	OMEGA	AMP2	FASE2	AMP1	FASE1	A 2-1	F 2-1
A 0	0.0000	-1918.3795	0.00	-1465.3286	0.00	-453.0509	0.00
A 14	14.4966	1057.0485	-169.91	1096.2526	-167.75	-39.2041	-2.16
A 28	28.9933	13652.8477	22.38	13541.1123	27.35	111.7354	-4.97
A 29	30.0288	3247.8330	43.53	3197.5679	47.78	50.2651	-4.24
A 56	57.9866	3532.6904	60.59	3240.8523	65.48	291.8381	-4.89
A 84	86.9799	697.0351	-12.75	747.4918	-9.05	-50.4567	-3.71
A112	115.9732	491.9045	-6.55	501.6779	6.17	-9.7734	-12.71

				Proef N			
Meetpunt :DEBIET		HAVLSOM		0 0		Proef 1:Z0171P042	
Meetpunt :MADEM		HAVL1029.125		030		Proef 2:ZWEN948N	
K	OMEGA	AMP2	FASE2	AMP1	FASE1	A 2-1	F 2-1
A 0	0.0000	-1736.8657	0.00	-1171.2689	0.00	-565.5968	0.00
A 14	14.4966	746.9764	-163.73	776.7729	-160.44	-29.7966	-3.29
A 28	28.9933	9400.2090	28.99	9361.9951	34.01	38.2139	-5.02
A 29	30.0288	2194.1882	50.36	2173.3735	54.74	20.8147	-4.37
A 56	57.9866	2580.1968	65.81	2361.2207	72.34	218.9761	-6.53
A 84	86.9799	432.1338	-22.55	488.2452	-18.50	-56.1114	-4.04
A112	115.9732	437.2339	-15.30	430.3298	0.09	6.9041	-15.39

		"verbeterde"		"foute"		ZWENDL-berekening	
K	OMEGA	AMP2	FASE2	AMP1	FASE1	A 2-1	F 2-1
A 0	0.0000	-1918.3795	0.00	-1846.9045	0.00	-71.4750	0.00
A 14	14.4966	1057.0485	-169.91	1106.7682	-168.55	-49.7197	-1.36
A 28	28.9933	13652.8477	22.38	13661.3965	25.64	-8.5488	-3.26
A 29	30.0288	3247.8330	43.53	3226.2520	46.04	21.5811	-2.51
A 56	57.9866	3532.6904	60.59	3342.8044	61.34	189.8860	-0.75
A 84	86.9799	697.0351	-12.75	793.7801	-14.01	-96.7450	1.26
A112	115.9732	491.9045	-6.55	528.3737	-1.67	-36.4691	-4.88

Proef M (Qbr=3000 m3/s , HVSL 100% "open")
Debiet Haringvlietsluizen

		"verbeterde"		"foute"		ZWENDL-berekening	
K	OMEGA	AMP2	FASE2	AMP1	FASE1	A 2-1	F 2-1
A 0	0.0000	-1736.8657	0.00	-1666.1908	0.00	-70.6749	0.00
A 14	14.4966	746.9764	-163.73	786.5530	-161.81	-39.5767	-1.92
A 28	28.9933	9400.2090	28.99	9449.9814	32.19	-49.7725	-3.20
A 29	30.0288	2194.1882	50.36	2191.8853	52.95	2.3030	-2.59
A 56	57.9866	2580.1968	65.81	2427.6836	67.55	152.5132	-1.74
A 84	86.9799	432.1339	-22.55	528.5414	-22.65	-96.4076	0.11
A112	115.9732	437.2339	-15.30	461.5742	-9.11	-24.3402	-6.18

Proef N (Qbr=3000 m3/s , HVSL 50% "open")
Debiet Haringvlietsluizen

	gemiddelde [kg/m ³]	maximale waarde [kg/m ³]	verziltings- oppervlak [mg ⁻ Cl dag/1]
- Nieuwe Waterweg	0,3/0,4	0,4	200/300
- Nieuwe Maas			
* splitsingspunt Westgeul-kmr. 100	0,4/0,5	0,4/0,5	300/400
* bovenstrooms kmr. 1000	0,1/0,2	0,3/0,4	75/150
- Oude Maas			
* splitsingspunt Westgeul-kmr. 1000	0,4	0,4/0,5	300
* bovenstrooms kmr. 1000	0,2/0,3	0,4/0,5	150/200
- overige riviertakken			
* Holl. IJssel en Noord	0,1	0,1	75
* Spui	0,1	0,3	75

tabel 15 Instelnaauwkeurigheid zoutverdeling
meetinstrument: VEZO/VAZO
tijduitsnede : 14,5 dagen

Bijlage 1.

Afleiding E_M

Beschouw een mootje water van $\bar{d} * 1 * 1 \text{ m}^3$ met een willekeurige dichtheidsverdeling, zie fig. bl.1

De potentiële energie van dit mootje = $g \int_0^{\bar{d}} \rho(z) z dz$

Wanneer de dichtheidsvertikaal volledig wordt opgemengd: $\rho(z) \rightarrow \bar{\rho}$

$$E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} g \bar{\rho} \bar{d}^2 \text{ met:}$$

$$\bar{\rho} = \frac{1}{\bar{d}} \int_0^{\bar{d}} \rho(z) dz$$

De energie benodigd voor menging is:

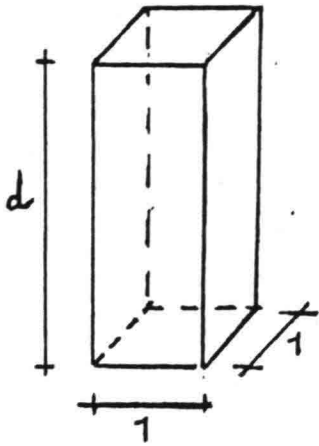
$$E_M = \frac{1}{2} g \bar{d} \int_0^{\bar{d}} \rho(z) dz - g \int_0^{\bar{d}} \rho(z) z dz$$

Uitgaande van een tweelagenmodel, zie fig. bl.1

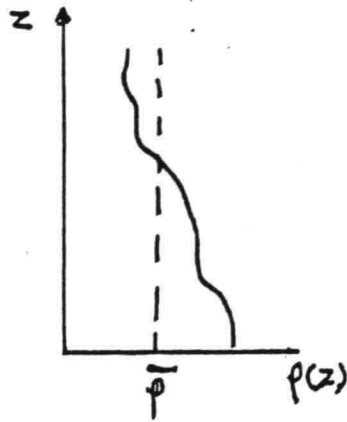
$$E_M = [\alpha^2 (\frac{1}{2}\rho_1 - \frac{1}{2}\rho_2) + \alpha (\frac{1}{2}\rho_2 - \frac{1}{2}\rho_1)] g \bar{d}^2$$

$$\frac{dE_M}{d\alpha} = [2\alpha (\frac{1}{2}\rho_1 - \frac{1}{2}\rho_2) + (\frac{1}{2}\rho_2 - \frac{1}{2}\rho_1)] g \bar{d}^2$$

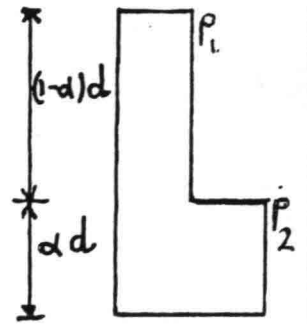
$$\frac{dE_M}{d\alpha} = 0 \rightarrow \alpha = \frac{1}{2} \rightarrow E_{M_{\text{max}}} = \frac{1}{8} (\rho_2 - \rho_1) g \bar{d}^2 = \frac{1}{8} \Delta \rho g \bar{d}^2$$



mootje water $d \cdot 1 \cdot 1 \text{ m}^3$



dichtheidsverdeling



tweelagenmodel

Figuren bij afleiding E_M

A4

Bijlage 2

Ruwheidsvariatie Haringvliet en Hollandsch Diep in ZWENDL

De ruwheid van een rivier is een moeilijk te bepalen grootheid die in modellen meestal als ijkparameter wordt gebruikt. In het algemeen geldt dat de waarde van deze parameter slechts geldt in gevallen die niet te veel afwijken van de ijkomstandigheden. Consequentie hiervan is dat het model slechts tot op zekere hoogte een voorspellende waarde heeft.

Onderzoek van de gevoeligheid van de berekende waterbeweging bij het toepassen van andere ruwheden is daarom op zijn plaats.

Voor gevallen met Haringvlietsluizen "open" verandert met name de waterbeweging op het Haringvliet/Hollandsch Diep sterk.

Was tijdens de ijkomstandigheden het Haringvliet/Hollandsch Diep slechts een "kombergende lob" met zeer lage stroomsnelheden; bij de gevallen met Haringvlietsluizen "open" treedt zowel een grote verticale als horizontale getijbeweging op. Daarom is in het gevoeligheidsonderzoek juist in dat gebied de ruwheid in ZWENDL gevariëerd.

In ZWENDL is de volgende uitdrukking voor de Chézy-coëfficiënt toegepast:

$$C = k \sqrt[6]{R}$$

Voor het Haringvliet/Hollandsch Diep is 50 de gebruikelijke k-waarde (zie evt. [12]).

NB: Bij verhoging van de k-waarde wordt een tak hydraulisch gladder.

Bij $Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$ en onder cyclische getijomstandigheden is de ruwheid op het Haringvliet/Hollandsch Diep gevariëerd. De volgende k-waarden zijn gehanteerd: $k = 25, 40, 50, 60$ en 75 .

De wrijvingssterm in de bewegingsvergelijking is recht evenredig met g/C^2 .

In dit geval: waterdiepte $a = 12 \text{ m}$

$$C = k \sqrt[6]{a}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2.$$

k = 25	C = 37,8	$g/C^2 = 6,9 \cdot 10^{-3}$
k = 40	C = 60,5	$g/C^2 = 2,7 \cdot 10^{-3}$
k = 50	C = 75,7	$g/C^2 = 1,7 \cdot 10^{-3}$
k = 60	C = 90,8	$g/C^2 = 1,2 \cdot 10^{-3}$
k = 75	C = 113,5	$g/C^2 = 0,8 \cdot 10^{-3}$

Bij een gelijke variatie van k is de relatieve ruweidsvergroting veel effectiever dan de relatieve ruweidsverkleining [12].

Resultaten:

Voor de verdeling van de rivierafvoer; de amplitude van het dubbeldaagse horizontale en verticale getij zijn de resultaten van het gevoeligheidsonderzoek gepresenteerd in de figuren b2.1 tot en met b2.3. De grootheden worden steeds relatief t.o.v. de grootheid bij k = 50 gepresenteerd.

Voor de middenstand van het verticale getij zijn de resultaten gepresenteerd in fig. b2.4. De afwijkingen t.o.v. de middenstand bij k = 50 zijn alleen genoteerd als zij > 10 mm zijn.

Amplitude dubbeldaagse horizontale getij (fig. b2.1).

Het horizontale getij aan de noordrand: Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Oude Maas-west is vrijwel ongevoelig voor een ruweidsvariatie Haringvliet.

Het horizontaal getij aan de zuidrand vertoont bij een variatie van k met $\Delta k = 10$, een verandering van $\pm 10\%$. De voortplanting van de getijgolf langs de zuidrand is dus gevoelig voor een variatie van k. Opvallend is het gedrag van de Dortsche Kil; zowel bij een toename als bij een afname van k neemt het horizontaal getij hier sterk toe. De waterbeweging in de Dortsche Kil is dus zeer gevoelig voor een variatie ruweid Haringvliet.

Verdeling van de rivierafvoer (fig. b2.2)

De verdeling van de rivierafvoer over de Nieuwe Waterweg en Haringvliet blijkt vrij ongevoelig voor een variatie van k, alleen bij k = 25 treedt een sterke toename van de afvoer over de Nieuwe Waterweg op.

Vreemd is dat bij $k = 75$ de rivierafvoer via het Haringvliet tegen de trend in weer afneemt. De versterkte horizontale getijbeweging veroorzaakt bij de Haringvlietsluizen een kleine middenstandsverhoging (± 7 mm) t.o.v. $k = 50$. Deze middenstandsverhoging is klaarblijkelijk genoeg om de verdeling van de rivierafvoer tegen de trend in te veranderen.

NB: De grote relatieve verandering van de rivierafvoer door het Spui geeft een vertekend beeld. Doordat de absolute waarde klein is levert een variatie van b.v. $10 \text{ m}^3/\text{s}$ al een grote relatieve verandering op.

Amplitude dubbeldaagse vertikaal getij (fig. b2.3).

Evenals bij het horizontaal getij is de Zuidrand veel gevoeliger voor een ruwheidsvariatie Haringvliet dan de Noordrand. Meer bovenstrooms valt dit onderscheid voor een gedeelte weg. De getijbeweging op bijv. Oude Maas Oost, Monding Lek en Boven Merwede is ook vrij gevoelig voor een variatie van k_{Havl} . Opvallend is het gedrag van het verticale getij op het Haringvliet. Ten westen van het Spui neemt bij een vergroting van de weerstand de amplitude toe, ten oosten hiervan, zoals te verwachten, af.

Bij een verlaging van de weerstand is dit gedrag ook aanwezig: ten westen Spui afname amplitude, ten oosten Spui toename amplitude.

Middenstand vertikaal getij (fig. b2.4).

De middenstand blijkt vrijwel ongevoelig voor variaties van de k_{HAVL} . De grootste afwijking is kleiner als 6 cm. In het algemeen moet men denken aan een variatie van enkele millimeters, wat als ruis beschouwd kan worden.

De middenstand ver bovenstrooms blijkt bij een vergroting van de weerstand (verlaging k) te dalen en bij een verkleining van de weerstand (verhoging k) te stijgen.

Onderstaande verklaring hiervoor is ontleend aan [4].

Veronderstel een rivier met bovenafvoer Q_0 en een getijstroom $Q_1 \cos \omega t$ ($Q_1 < Q_0$)

In dit geval is: $Q = Q_0 + Q_1 \cos \omega t$

Volgens Chézy wordt het weerstandsverhang bepaald door:

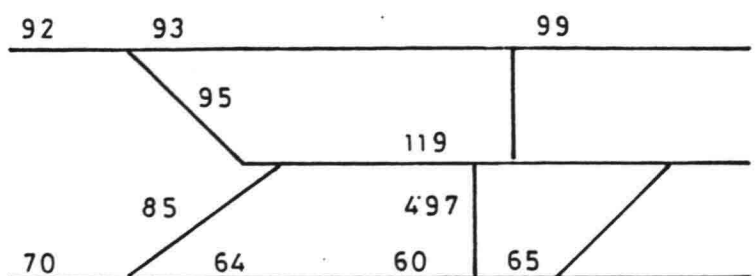
$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{U^2}{C^2 R} = \frac{Q^2}{C^2 A^2 R}$$

Na substitutie

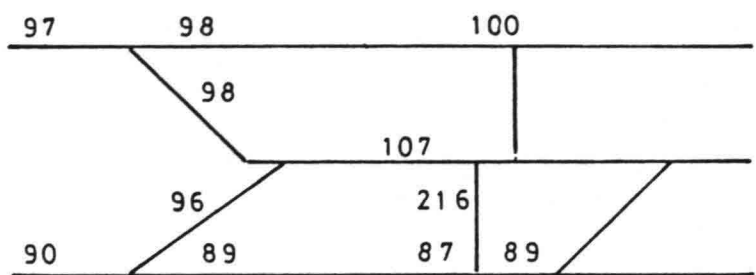
$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{Q_0^2 + \frac{1}{2}Q_1^2}{\underbrace{C^2 A^2 R^2}_a} + \frac{2Q_0 Q_1 \cos \omega t}{C^2 A^2 R} + \frac{\frac{1}{2}Q_1^2 \cos 2 \omega t}{C^2 A^2 R}$$

De term a is een permanent verhang, waaraan Q_1 ook een bijdrage levert.

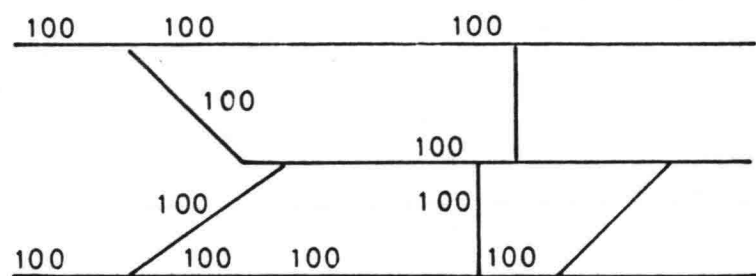
Wordt door een ingreep (= bijv. variatie weerstand) Q_1 verkleind dan verkleind ook het verhang, en de middenstand zakt.



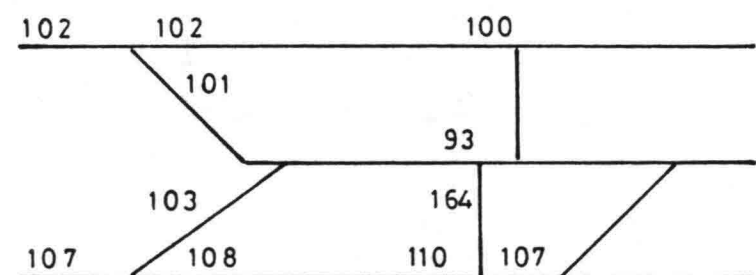
K = 25



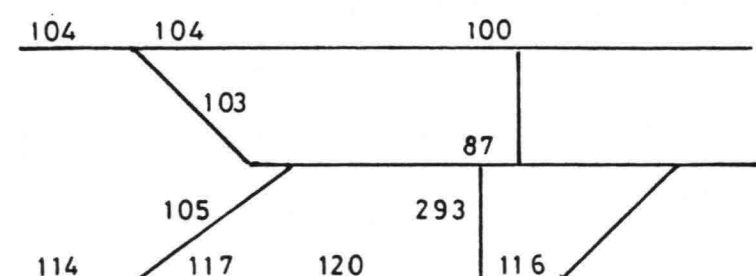
K = 40



K = 50

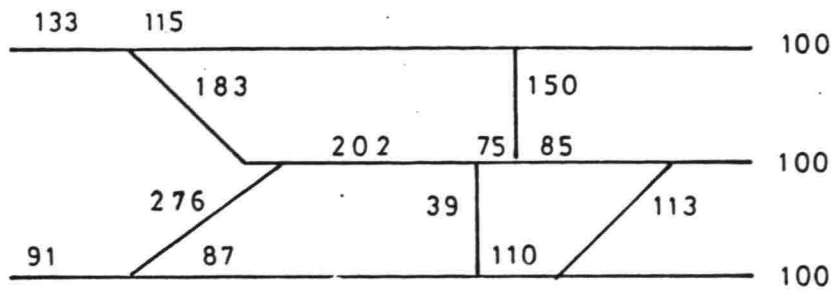


K = 60

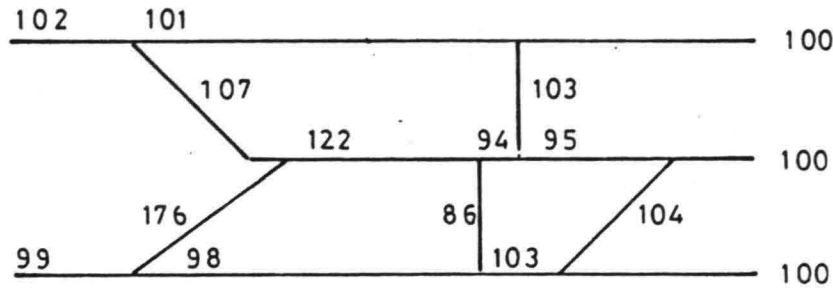


K = 75

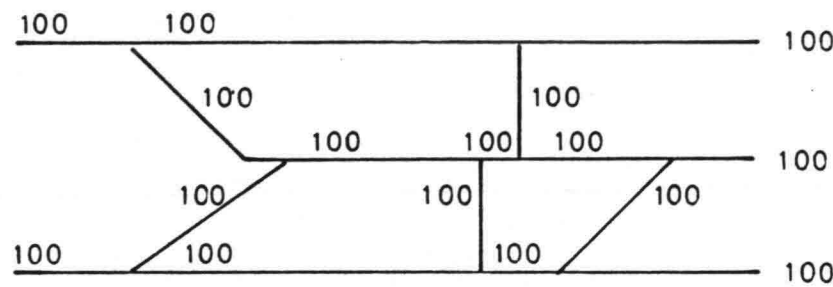
AMPLITUDE DUBBELDAAGSE HORIZONTALE GETIJ RELATIEF t.o.v. K=50 IN PROCENTEN		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM		b 2.1



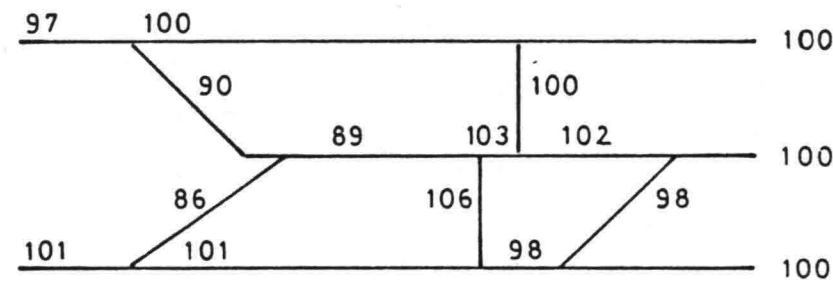
K = 25



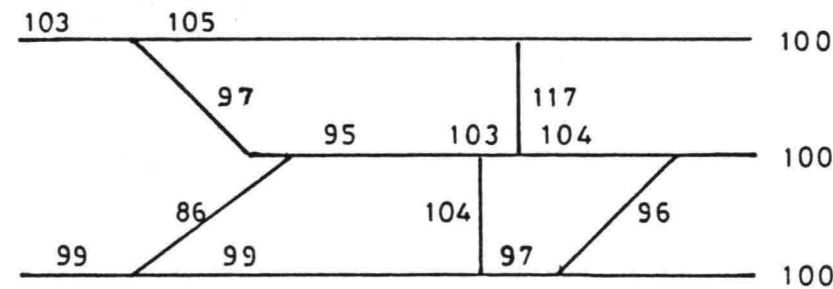
K = 40



K = 50



K = 60

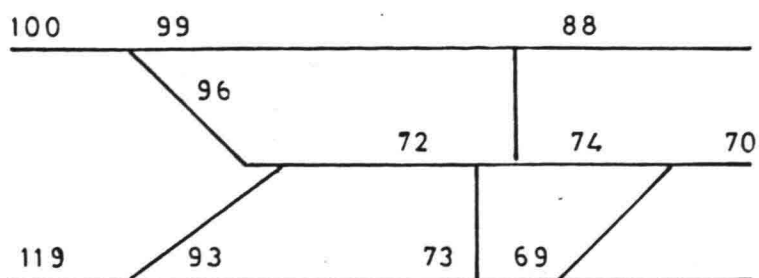


K = 75

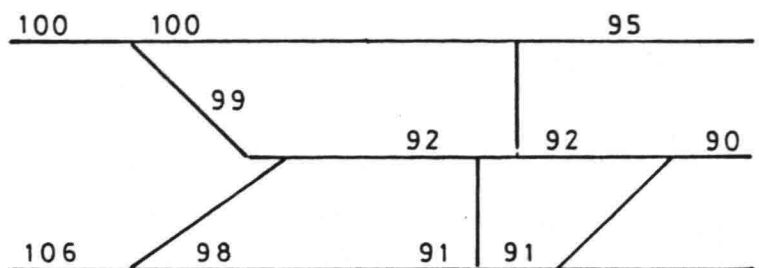
VERDELING VAN DE RIVIERAFVOER
RELATIEF t.o.v. K=50 IN PROCENTEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

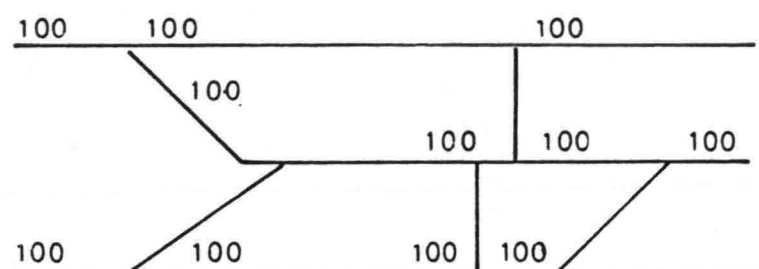
b. 2.2



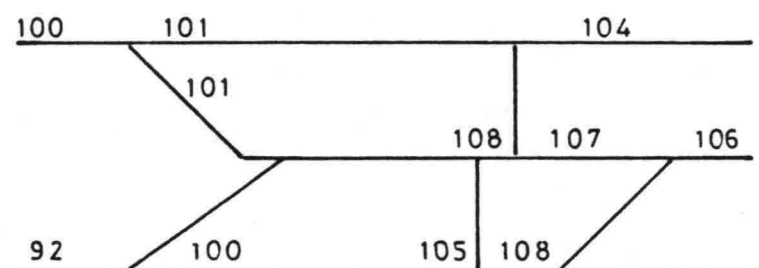
$K = 25$



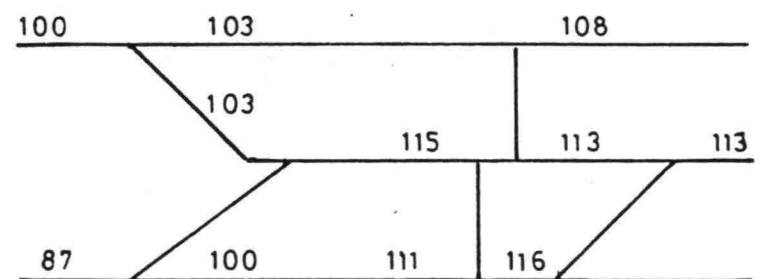
$K = 40$



$K = 50$

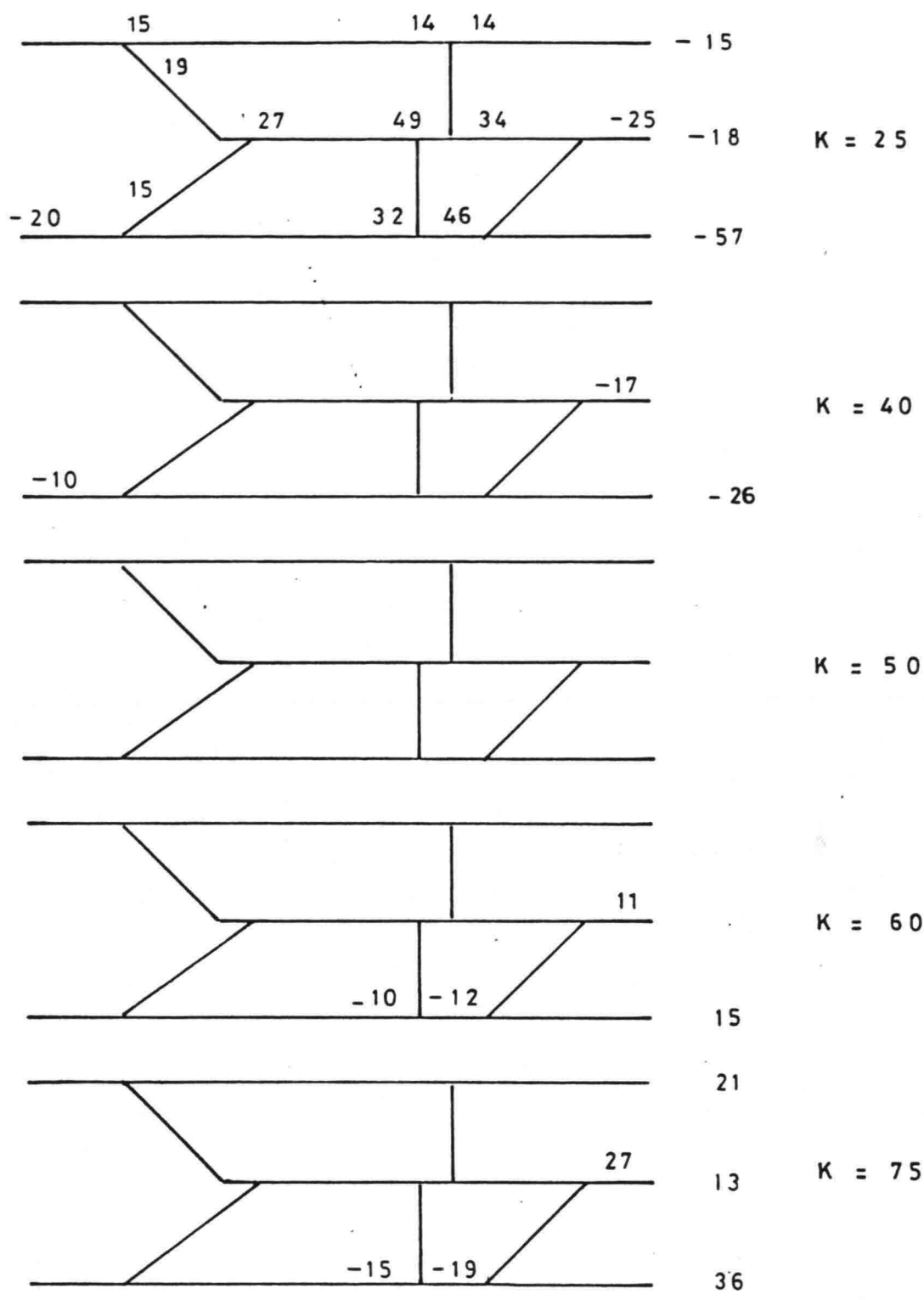


$K = 60$



$K = 75$

AMPLITUDE DUBBELDAAGSE VERTICALE GETIJ RELATIEF
t.o.v. $K = 50$, IN PROCENTEN



AFWIJKINGEN IN MIDDENSTAND VERTIKAAL GETIJ t.o.v. K = 50 in mm (alleen ≥ 10 mm)		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	Z 171	b 2.4

Bijlage 3

Meetopstelling "Manipulaties Haringvlietsluizen"

De meetlokaties van de verticale en de vaste zoutopnemers zijn gepresenteerd in tabel b3.1 en b3.2 en figuur b3.1.

De plaatsing van de zoutopnemers in het Haringvliet/Hollandsch Diep in het Getijmodel is getekend in figuur b3.2.

Tabel b3.3 geven de meetlokaties van de snelheidsmolentjes bij proef K en L.

Riviertak	Kilometerraai	Diepste meetpos. [m-NAP]
Nieuwe Waterweg	1029.000	13,50
	1018.750	13,50
	1015.000	13,50
Nieuwe Maas	1011.000	12,00
	1006.750	13,50
	1002.500	10,50
	999.375	6,00
	995.125	6,00
Hollandsche IJssel	18.000	4,50
Oude Maas	1005.625	9,00
	1002.111	9,00
	996.100	15,00
	993.800	9,00
Spui	998.000	9,00
	1007.125	4,50
Haringvliet	(1) monding	16,50
	(3) slijkplaat	16,50
	(5) middelhamis	16,50

tabel b3.1. Meetlocaties verticale zoutopnemers (VEZO's)

(*) correspondeert met de nummers in fig. b3.1 en b3.2

Riviertak	Raai	Diepste meetpos. [m-NAP]
HOLLANDSCHE IJSSEL	3.000	6.00
OUDE MAAS	983.750	10.50
NOORD	980.750	4.50
DORTSCHE KIL	(14) 1080.000	9.00
HARINGVLIET	(2) AARDAPPELGAT	16.50
	AARDAPPELGAT	9.00
	AARDAPPELGAT	3.00
	(4) KORENDIEP	4.50
	(6) STAD A/H HARINGVLIET LINKS	10.50
		3.00
	(7) STAD A/H HARINGVLIET RECHTS	10.50
		3.00
	(8) DENBOMMEL	10.50
		3.00
	(9) VUILEGAT	12.00
(10) VENTJAGERSGAATJE RECHTS	6.00	
(11) VENTJAGERSGAATJE LINKS	16.50	
HOLLANDSCH DIEP	(12) VOLKERAK	16.50
	(13) NOORDSCHANS	7.50
NIEUWE MERWEDE	(15) MONDING	6.00
AMER	(16) MONDING	10.50

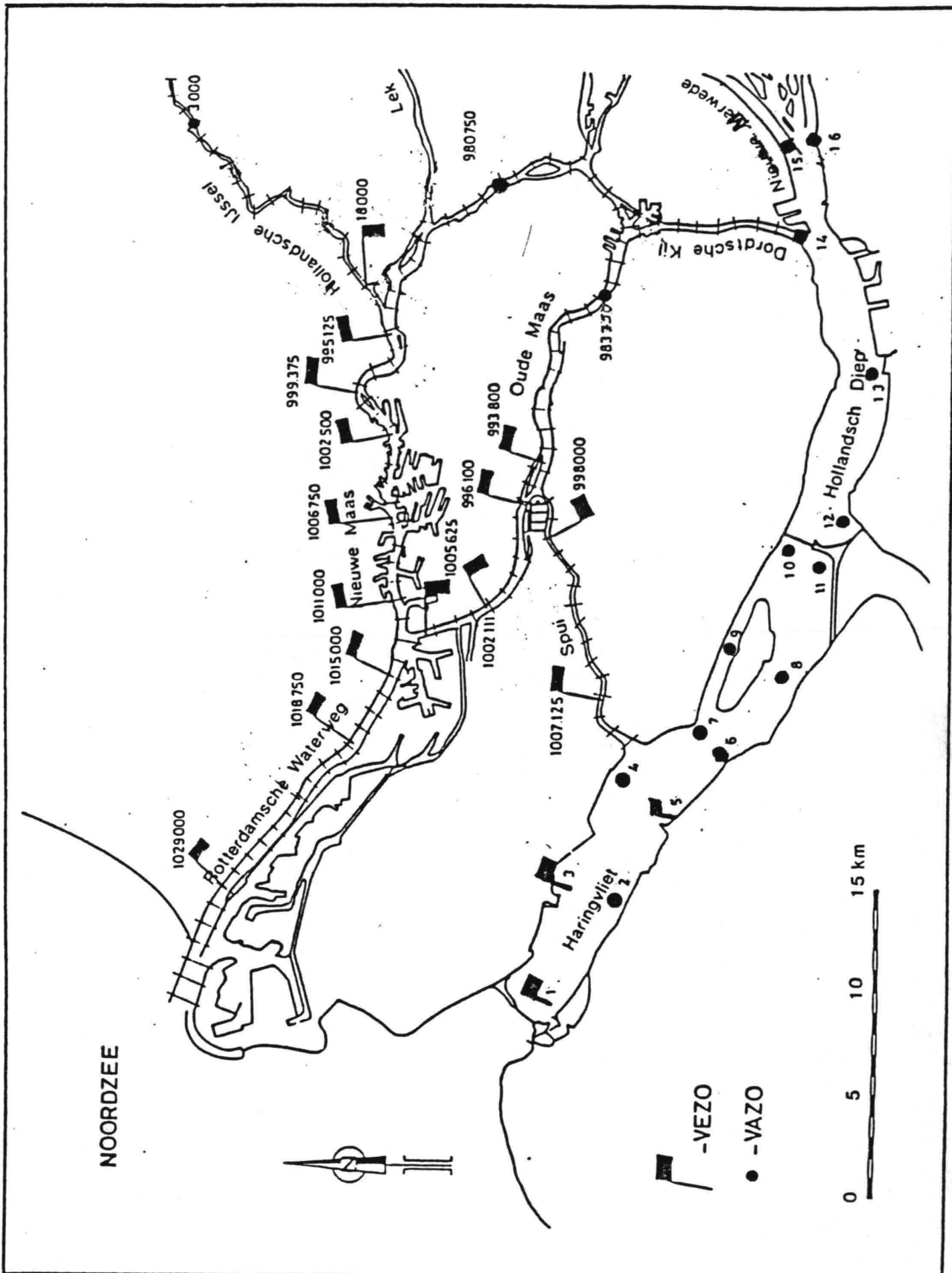
Tabel b3.2 Meetlokaties vaste zoutopnemers (VAZO's)

(*) CORRESPONDEERT MET NUMMERS IN FIGUUR b3.1 en b3.2

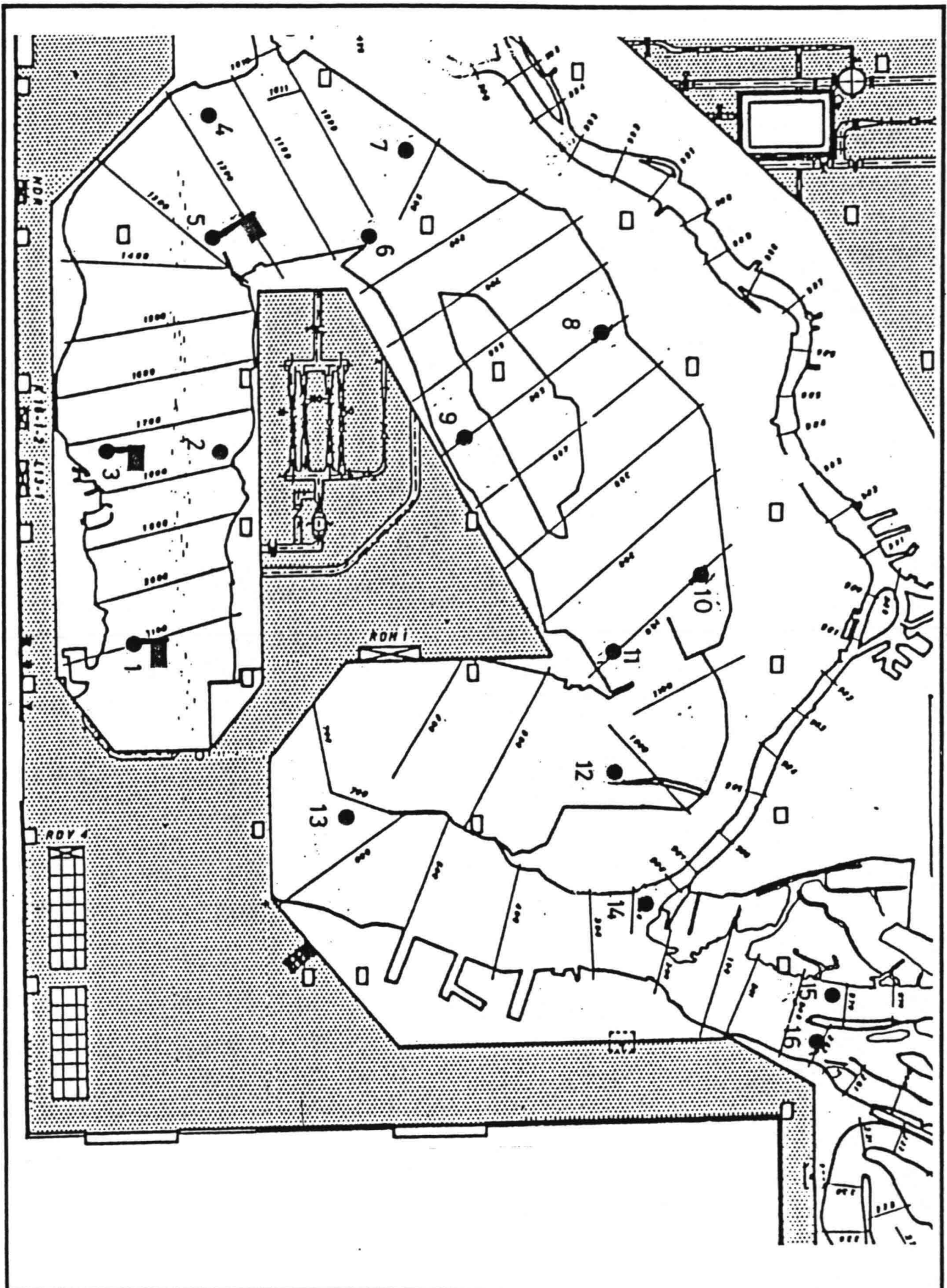
(**) PLAATS DEN BOMMEL/VUILEGAT GESPIEGELD

Riviertak	Kilometerraai	Diepte meetpos. [m-NAP]
Nieuwe Waterweg	1032.000	4.50
		10.50
		15.00
	1029.000	4.50
		10.50
		15.00
	1023.125	3.00
		9.00
		13.50
	1018.750	3.00
		9.00
		13.50
	1015.000	3.00
		9.00
		13.50
Nieuwe Maas	1011.000	1.50
		7.50
		12.00

tabel b3.3. Meetlocaties snelheidsmolentjes bij proef K en L



<p>MEETOPSTELLING VERTIKALE EN VASTE ZOUTOPNEMERS IN GETIJMODEL</p>	
<p>WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM</p>	<p style="text-align: right;">A4</p> <p style="text-align: right;">b 3.1</p>



LOCATIES ZOUTOPNEMERS IN HET HARINGVLIET/HOLLANDSCH DIEP IN HET GETIJMODEL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

A4

b 3.2

Bijlage 4.

Dichtheid-rivierafvoerrelaties.

In "lozingen/onttrekkingen en afvoervertrekkingen deel 1" worden relaties gegeven tussen enerzijds de dichtheden op de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas en de Oude Maas (benedenstrooms van het Spui) en anderzijds de rivierafvoeren door deze takken.

Deze dichtheids-rivierafvoerrelaties hebben de volgende algemene vorm:

$$\ln(\bar{\rho}) = a + b * Q_{wawe}$$

en

$$\ln(\bar{\rho}) = a + b * Q_{nima} + c * Q_{ouma}$$

waarin

$\bar{\rho}$	=	dichtheid, vertikaal gemiddeld en tijdsgemiddeld over de laatste 14 dagen van de meireeks	[kg/m ³]
Q_{wawe}	=	rivierafvoer door de Nieuwe Waterweg	[m ³ /s]
Q_{nima}	=	rivierafvoer door de Nieuwe Maas	[m ³ /s]
Q_{ouma}	=	rivierafvoer door de Oude Maas	[m ³ /s]
a, b, c	=	regressie-coëfficiënten	[/]

In tabel b4.1 zijn de toe te passen regressie-coëfficiënten gepresenteerd. Om aan te geven in welke mate de dichtheid in een meetpunt kan worden benaderd door de gegeven betrekking is tevens de standaardafwijking vermeld.

Voor de onderzoeksgevallen A ($Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$, huidige situatie), C ($Q_{br} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$, $485 \text{ m}^3/\text{s}$ spuien) en E ($Q_{br} = 1700 \text{ m}^3/\text{s}$, $1105 \text{ m}^3/\text{s}$ spuien) zijn deze relaties uitgewerkt en vergeleken met de in het Getijmodel gemeten dichtheden. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in tabel b4.2.

Tussen de berekende en gemeten dichtheden blijken verschillen op te treden. Oorzaak van deze verschillen is dat tijdens het systeemonderzoek overgestapt is op een andere wijze van berekening van de vertikaal gemiddelde dichtheden (meetellen van meerdere posities, extrapoleren naar bodem en oppervlak). De verschillen hebben geen fysische achtergrond maar zijn afhankelijk van de keuze van berekeningswijze van gemiddelden.

Bovenstrooms nemen de verschillen tussen de berekende en gemeten dichtheden af; naarmate de zoutverdeling over de vertikaal verder wordt opgemengd nemen de verschillen tussen de verschillende berekeningswijzen af.

Meetpunt		a	b	c	s
			* 1000	* 1000	
Nieuwe Waterweg	1029.000	3.072	- 0.25		0.11
	1018.750	2.877	- 0.55		0.10
	1015.000	2.824	- 0.85		0.12
Nieuwe Maas	1011.000	2.817	- 1.29	- 1.25	0.07
	1006.750	2.817	- 1.59	- 1.56	0.09
	1002.500	3.014	- 3.09	- 2.41	0.17
	999.375	2.993	- 4.98	- 2.89	0.13
	995.125	3.105	- 7.72	- 3.79	0.08
Oude Maas	1005.625	2.914	- 1.06	- 1.73	0.07
	1002.111	2.910	- 1.38	- 2.44	0.10
	996.100	3.451	- 2.45	- 6.04	0.09

Tabel b 4.1 Benadering meetresultaten (tijdsgemiddelde dichtheden)
met logaritmische relatie.

Nieuwe Maas

	proef	a +	b * 10E-3 *	Qnima +	c * 10E-3 *	Qouma	= ln(p)	p	s	gemeten
1011.000	A	2.817	-1.29	282	-1.25	626	1.67	5.32	0.07	6.86
	C	2.817	-1.29	133	-1.25	291	2.28	9.79	0.07	10.68
	E	2.817	-1.29	224	-1.25	196	2.28	9.81	0.07	10.46
1006.750	A	2.817	-1.59	282	-1.56	626	1.39	4.02	0.09	4.91
	C	2.817	-1.59	133	-1.56	291	2.15	8.60	0.09	8.72
	E	2.817	-1.59	224	-1.56	196	2.16	8.63	0.09	8.41
1002.500	A	3.014	-3.09	282	-2.41	626	0.63	1.88	0.17	2.28
	C	3.014	-3.09	133	-2.41	291	1.90	6.70	0.17	7.04
	E	3.014	-3.09	224	-2.41	196	1.85	6.36	0.17	6.81
999.375	A	2.993	-4.98	282	-2.89	626	-0.22	0.80	0.13	0.78
	C	2.993	-4.98	133	-2.89	291	1.49	4.43	0.13	4.16
	E	2.993	-4.98	224	-2.89	196	1.31	3.71	0.13	3.38
995.125	A	3.105	-7.72	282	-3.79	626	-1.44	0.24	0.08	0.16
	C	3.105	-7.72	133	-3.79	291	0.98	2.65	0.08	2.46
	E	3.105	-7.72	224	-3.79	196	0.63	1.88	0.08	1.61

tabel b 4.2

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands