

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

modelmatig onderzoek van stoftransport
langs de Nederlandse kust

verslag van onderzoek

R 1727 / T 75

januari 1987

modelmatig onderzoek van stoftransport
langs de Nederlandse kust

verslag van onderzoek

R 1727 / T 75

januari 1987

INHOUD

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding</u>	1
<u>2</u> <u>Het modelonderzoek</u>	3
2.1 Doelstelling van het onderzoek	3
2.2 Opzet van het transportmodel	4
<u>3</u> <u>Stoftransport langs de Nederlandse kust</u>	6
3.1 Stroming in de Noordzee	6
3.2 Invloed van chemische en biologische processen op de water- kwaliteit	8
<u>4</u> <u>De opbouw van het rekenmodel</u>	10
4.1 De modelvergelijking	10
4.2 Het begrip dispersie	13
4.3 Schematisering van het model	14
<u>5</u> <u>Gemiddelde verdeling van de saliniteit</u>	18
5.1 Reststroming evenwijdig aan de kust	18
5.2 Aanpassing van de schematisering	21
5.3 De resultaten voor de saliniteit	23
<u>6</u> <u>De verspreiding van nutriënten</u>	25
6.1 De massabalans voor stikstof	27
6.2 De massabalans voor fosfor	28
6.3 De massabalans voor silicium	29
<u>7</u> <u>Dynamische berekeningen voor de saliniteit</u>	30
7.1 De invloed van de rivierafvoer	30
7.2 De invloed van variabele reststroming	32

INHOUD (vervolg)

	blz.
<u>8</u> <u>Conclusies en aanbevelingen</u>	36
8.1 Conclusies	36
8.2 Aanbevelingen	38

LITERATUUR

APPENDIX: Details van het rekenmodel

Lijst van figuren

- Figuur 1. Schematisering van het kuststrookmodel en meetnet WAKWON
- Figuur 2. Reststroming in de Noordzee, berekend met ESTFLO
- Figuren 3 t/m 7.
Resultaten voor de saliniteit met reststroom parallel aan de kust
- Figuur 8. Verloop saliniteit op de raai van Callantsoog - verschillende waarden dispersiecoëfficiënt
- Figuur 9. Verloop saliniteit op de raai van Callantsoog - verschillende waarden reststroomdebiet
- Figuur 10. Gewijzigde schematisering van het model
- Figuren 11 t/m 13.
Resultaten voor de saliniteit met nieuwe schematisering
- Figuren 14 t/m 17.
Verloop van berekende en gemeten stikstofgehalten op verschillende raaien
- Figuren 18 t/m 21.
Verloop van berekende en gemeten fosforgehalten op verschillende raaien
- Figuren 22 en 23.
Verloop van berekende en gemeten siliciumgehalten op verschillende raaien
- Figuur 24. Afvoerdebiet van Haringvliet en Nieuwe Waterweg in 1980
- Figuren 25 en 26.
Resultaten van de dynamische berekeningen, vergeleken met metingen, voor de raaien van Ter Heijde en Noordwijk
- Figuur 27. Reststroomdebiet in modelberekening en volgens Prandle
- Figuren 28 t/m 32.
Resultaten van de berekeningen met variërend reststroomdebiet
- Figuur 33. Nummering van de segmenten

1. Inleiding

De ecologie van de Noordzee wordt beïnvloed door een gecompliceerd samenspel van fysische, chemische en biologische processen. Uit een oogpunt zowel van beleid en beheer, als van de structurering van wetenschappelijk onderzoek, is het van belang een goed inzicht te verkrijgen in het gedrag van het ecosysteem. Hierbij spelen de onderlinge samenhang tussen de diverse aspecten van het systeem en de invloed van externe factoren een rol. Naast monitoring en experimenteel onderzoek kan mathematisch modelonderzoek een belangrijke bijdrage leveren tot vergroting van dit inzicht.

Het modelmatig onderzoek biedt mogelijkheden voor een integrale beschouwing van de diverse aspecten van het ecosysteem. In het kader van het Waterkwaliteitsplan Noordzee [5,15] is het modelmatig onderzoek gebruikt om een kwantitatief inzicht te verkrijgen in o.a.:

- de invloed van de inbreng van stoffen op de waterkwaliteit
- de invloed van de inbreng van stoffen op de bodemverontreiniging van de Noordzee en de interactie met de waterkwaliteit
- de doorwerking van veranderingen in de waterkwaliteit en de bodemverontreiniging op het ecosysteem

Met name voor het kwantificeren van de invloed van de inbreng van stoffen op de waterkwaliteit heeft het lopende onderzoek voor het project WST-4 een belangrijke bijdrage geleverd. Met betrekking tot de verspreiding van verontreinigingen in de zuidelijke Noordzee werd twee afzonderlijke modellen gebruikt voor de waterbeweging en de waterkwaliteit. Met het waterbewegingsmodel werd de door getij en wind geïnduceerde stroming in de zuidelijke Noordzee berekend. De over het getij gemiddelde waterbeweging werd gebruikt om met behulp van het tweede model de verspreiding van stoffen op lange termijn te bepalen. Vanwege de omvang van het gebied dat in het model was opgenomen was de schematisering vrij grof: de afmetingen van een rooster cel waren 10 bij 10 km. Het model is daardoor minder geschikt voor het beschrijven van de gradiënten in de gehalten in het gebied langs de kust.

Als basis voor het onderzoek naar de invloed van de door wind en getij geïnduceerde stromingen op de verspreiding van stoffen in de Nederlandse kuststrook is een afzonderlijk model opgezet. Hierbij stond de verspreiding op lange termijn centraal. Hoewel het transportmodel dat voor deze studie werd ontwikkeld is niet rechtstreeks gebruik maakt van de resultaten van een waterbewegingsmodel, is er wel gebruik gemaakt van de resultaten van onderzoek naar de reststroming in de zuidelijke Noordzee [5,7,8,15]. Het model beschrijft een strook van 80 km breed langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen tot aan Rottumerplaat (zie figuur 1). De schematisering is zodanig gekozen dat de berekeningsresultaten vrijwel direkt vergeleken kunnen worden met de meetgegevens van het routinematig onderzoek van de waterkwaliteit dat door Rijkswaterstaat in de jaren 1976-1982 werd uitgevoerd. Deze meetgegevens vormden de basis van het model. Hiermee werd geprobeerd de gemeten waarden te benaderen, om zo meer inzicht te krijgen in de transportprocessen in de kuststrook.

In dit rapport zal eerst worden ingegaan op een aantal aspecten van het transport van stoffen langs de Nederlandse kust en op de vragen die met dit waterkwaliteitsmodel kunnen worden beantwoord. Vervolgens wordt de inregeling van het model met behulp van de gemiddelde saliniteit beschreven en worden de resultaten voor de over het jaar gemiddelde verdeling van nutriënten besproken. Het onderzoek naar het dynamisch gedrag van de waterkwaliteit in relatie tot de variatie in de afvoer van rivieren en de stroming langs de kust vormt het onderwerp van het daarop volgende hoofdstuk. Het rapport wordt besloten met een evaluatie van het model en conclusies ten aanzien van het stoftransport langs de Nederlandse kust, alsmede suggesties voor nader onderzoek. In de appendix is enige achtergrondinformatie vermeld betreffende het model.

Het onderzoek werd begeleid door dr. W.P.M. de Ruijter van de Dienst Getijdewateren van Rijkswaterstaat en werd uitgevoerd door E.K. Luppés, ir. A.A. Markus, ir. J.A. van Pagee en F.C. van Stralen. Het onderzoek is gerapporteerd door ir. A.A. Markus.

2. Het modelonderzoek

2.1. Doelstelling van het onderzoek

Bij de modellering van de waterkwaliteit is een goede beschrijving van de transportverschijnselen in het modelgebied van belang. Het ligt daarom voor de hand om uit te gaan van een waterbewegingsmodel. Voor de zuidelijke Noordzee zijn een aantal van dergelijke modellen ontwikkeld, zoals het model ESTFLO, dat voor het Waterkwaliteitsplan Noordzee werd gebruikt [5,15], en het model ZUNOWAK [13]. Verder kunnen genoemd worden het model GENO, dat de gehele Noordzee beschrijft [13], het model CSM, dat het Europese Continentale Plat omvat [24], en de modellen die door Prandle zijn gebruikt [7,8]. Waterbewegingsmodellen worden evenwel voornamelijk afgeregeld op basis van de getijbeweging. Het verloop van de waterhoogte en eventueel de stroomsnelheid zijn relatief eenvoudig te meten. Voor het beschrijven van transport op langere termijn is het over het getij gemiddelde transport van belang. De hierbij behorende gemiddelde stroomsnelheid is moeilijk te meten, doordat de stroomsnelheden binnen het getij vele malen groter zijn. Uit modelstudies en metingen is wel bekend, dat de over zeer lange tijd gemiddelde stroming langs de Nederlandse kust noordwaarts is gericht met een snelheid van enkele centimeters per seconde. Door de invloed van de wind kan de over de getijperiode gemiddelde stroming echter grote variaties vertonen. De tijdschaal waarover gemiddeld wordt is dus steeds van belang. Bovendien worden de termen gemiddelde stroming of reststroming gebruikt voor een aantal verschillende begrippen [2]. In dit rapport wordt met de middeling van een bepaalde grootheid over een zekere tijdsduur altijd de middeling op een vaste plaats bedoeld.

Over de verdeling van stoffen in de kuststrook zijn veel gegevens beschikbaar. In de jaren 1976-1982 werd door Rijkswaterstaat op routinematige basis onderzoek gedaan naar de waterkwaliteit in de kuststrook [10,11]. Elke twee tot drie weken werden met een schip de 76 stations bemonsterd die deel uitmaakten van het meetnet. Deze stations liggen verdeeld over een tiental raaien langs de kust (zie figuur 1). De stations werden steeds in dezelfde volgorde bemonsterd bij ongeveer dezelfde getijfase. De tocht begon bij de raai van Appellzak voor Zeeuws-Vlaanderen en eindigde bij de raai van Rottumerplaat. Er werden

grootheden gemeten als: temperatuur, saliniteit, zuurstofconcentratie en gehalte aan nutriënten en zwevende stof.

In deze studie werd beoogd met behulp van modelmatig onderzoek na te gaan door welke processen het transport van stoffen langs de Nederlandse kust wordt bepaald. Hierbij werd enerzijds gebruik gemaakt van de beschikbare informatie omtrent de reststroming en de aanvoer van zoet water en stoffen vanuit de kust en anderzijds van de concentratieverdeling die voor de kust is waargenomen.

2.2. Opzet van het transportmodel

In deze studie is gebruik gemaakt van een tweedimensionaal model om het over het getij gemiddelde transport te beschrijven. De uitgangspunten hierbij zijn, dat het gemiddelde transport door het getij beschreven kan worden met de over het getij gemiddelde stroming en het gemiddelde dispersieve transport.

Het transportmodel dat hierbij werd ontwikkeld, is zodanig opgezet dat voor de waterbeweging zowel de meetgegevens als de resultaten van modelstudies konden worden gebruikt. De eerste stap in de ontwikkeling van het model werd gevormd door een zo eenvoudig mogelijke schematisering van de reststroming door uit te gaan van een stroming evenwijdig aan de kust. Het over een jaar gemiddelde reststroomdebiet werd gebaseerd op een studie van Prandle [6,7].

Door toepassing van het transportmodel op de over een jaar gemiddelde verdeling van de saliniteit in het resttransport langs de kust. In het model wordt dit transport bepaald door drie aspecten:

- de grootte van het reststroomdebiet
- de grootte van de dispersiecoëfficiënt
- de schematisering van de reststroming

Vervolgens werd het gebruikt om het transport op kortere tijdschalen te bestuderen waarbij het verloop van de saliniteit gedurende een bepaald jaar is berekend met o.a. over een week gemiddelde gegevens betreffende de afvoeren en de door de wind geïnduceerde stroming. Voorts werd met betrekking tot de nutriënten getracht een indicatie te krijgen van de invloed van biologische en chemische processen op de waargenomen verdeling.

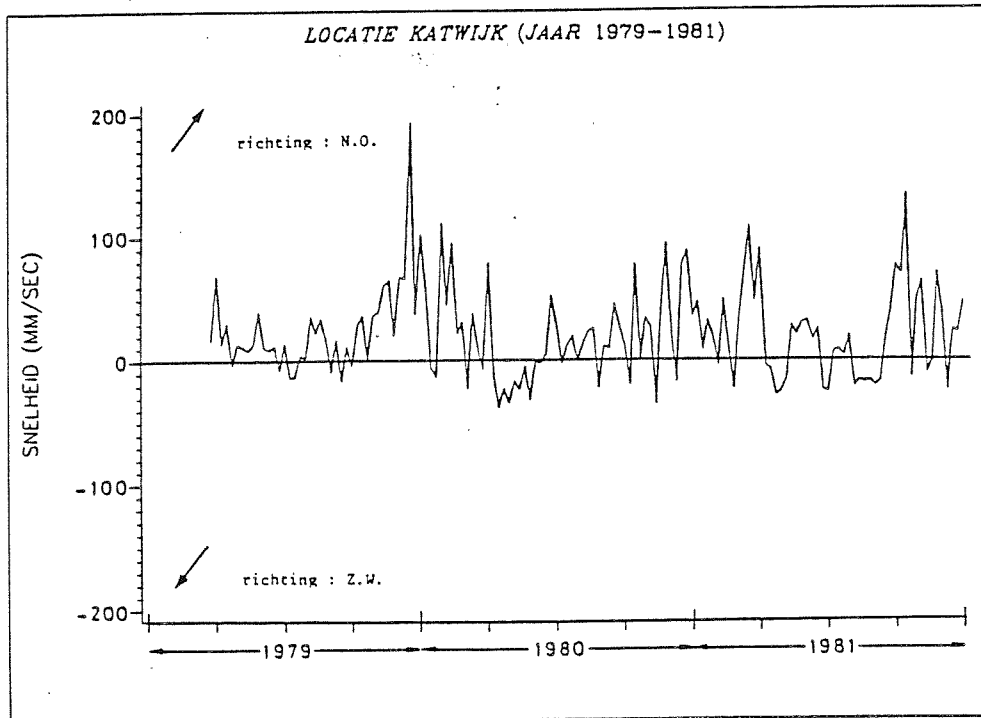
3. Stoftransport langs de Nederlandse kust

Rivieren als de Rijn, de Maas en de Schelde voeren grote hoeveelheden nutriënten af (stikstof- en fosforverbindingen alsmede silicium), waardoor de hoeveelheid algen in bepaalde gebieden soms excessief kan toenemen. Daarnaast worden er zware metalen als koper, lood en cadmium ingebracht, opgelost in het rivierwater of geadsorbeerd aan zwevende stof. Wat de consequenties voor de waterkwaliteit in het kustgebied zijn hangt niet alleen af van de lozingshoeveelheden, maar ook van het transport door de stroming langs de kust en de invloed van fysische, biologische en chemische processen.

3.1. Stroming in de Noordzee

Het transport van stoffen langs de kust wordt bepaald door de waterbeweging in de Noordzee. Deze waterbeweging kan opgebouwd gedacht worden uit een tweetal componenten: de getijstroming en de door meteorologische omstandigheden geïnduceerde waterbeweging. Bij de getijstroming doen zich stroomsnelheden voor in de orde van 1 m/s en variaties in de waterstand van circa 1 m. De stroming is, over de diepte gemiddeld, bij laagwater zuidwaarts en bij hoogwater noordwaarts. De snelheid en de richting van de stroming kunnen echter over de diepte variëren. De over de getijperiode gemiddelde stroming is noordwaarts, met een snelheid van enkele centimeters per seconde.

Naast de getijstroming is de door meteorologische omstandigheden geïnduceerde waterbeweging van belang. Luchtdrukverschillen maar bovenal de wind kunnen lokaal veranderingen veroorzaken in de stroomsnelheid en de waterhoogte. Bij stormen kan dan ook de werkelijke waterhoogte één tot twee meter afwijken van de hoogte die op grond van het getij verwacht mocht worden. Maar ook bij minder extreme weersomstandigheden speelt de wind een rol van betekenis. Met het windopzet-model van het KNMI worden dagelijks de door wind en drukverschillen geïnduceerde stroomsnelheid en vooral waterstandsverhogingen berekend [17]. De getijbeweging blijft daarbij buiten beschouwing. De component van de stroming langs de kust die door de wind wordt veroorzaakt varieert sterk in de tijd (zie onderstaande figuur). Volgens het windopzet-model ligt de grootte van de stroomsnelheid tussen 0 en 10 cm/s. De richting van de stroming is meestal noordelijk, maar in sommige perioden (zoals in mei 1980) komt een zuidelijke stroming voor.



Berekende snelheid in de door de wind
geïnduceerde stroming voor de kust nabij
Katwijk (weekgemiddelden 1979-1981; [15]).

Voor het transport op langere termijn (enkele dagen tot enkele weken) is vooral het over het getij gemiddelde transport van belang. Hoewel bekend is dat het over het getij gemiddelde transport van stoffen niet zondermeer kan worden beschreven op basis van de over het getij gemiddelde stroming [2], is in het kader van deze studie verondersteld dat de afwijkingen een ondergeschikte rol spelen. In deze studie wordt derhalve verondersteld dat het transport op lange termijn beschreven kan worden met de over het getij gemiddelde stroming en een gemiddeld dispersief transport. (De middeling heeft betrekking op de stroming in een vast punt in de ruimte.) De gemiddelde stroming wordt geïnduceerd door zowel het getij als de wind. Deze reststroming toont voor de zuidelijke Noordzee snelheden in de orde van 4 tot 5 cm/s terwijl de stroomsnelheden binnen het getij 1 m/s kunnen bedragen. De stroomlijnen van de gemiddelde stroming lopen voor de Nederlandse kust min of meer evenwijdig aan de kust (zie figuur 2). Door de invloed van de wind varieert de reststroming gedurende het jaar, zowel wat betreft de stroomsnelheid als wat betreft het stromingspatroon.

Prandle [6,7] heeft op basis van een waterbewegingsmodel en historische gegevens over de wind voor een aantal jaren een tabel samengesteld van over een maand gemiddelde debieten door het Nauw van Calais (zie tabel 1). Het per jaar gemiddelde debiet blijkt vrij constant te zijn. De gemiddelde waarde bedraagt $155 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$, met een standaarddeviatie van $23 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor de afzonderlijke maanden echter lopen de waarden van het restdebiet sterk uiteen: de laagste waarde was $-15 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ in januari 1963 en de hoogste waarde $364 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ in november van hetzelfde jaar.

3.2. Invloed van chemische en biologische processen op de waterkwaliteit

De verspreiding van niet-passieve stoffen en de verdeling van grootheden als de temperatuur die van belang zijn voor de waterkwaliteit, wordt mede bepaald door fysische, chemische of biologische processen. Bij het modelleren van de verspreiding van dergelijke stoffen kan daarom veelal niet worden volstaan met het beschrijven van het transport door stroming en dispersie. Voor nutriënten, stikstof en fosfor in de vorm van o.a. ammonium, nitraat en fosfaat en in het water opgelost silicium, zijn diverse chemische en biologische processen van belang [16]. Voorbeelden van dergelijke processen zijn de omzetting van ammonium in nitraat, de opname van nutriënten door algen. Verder komt bij de afbraak van organisch materiaal ammonium vrij. Het totale gehalte aan stikstof daarentegen is een grootheid waarvoor chemische en biologische processen een relatief kleine rol spelen, omdat daarbij steeds de ene stikstofverbinding wordt omgezet in de andere.

Diverse verontreinigende stoffen, waaronder zware metalen, kunnen deels opgelost, deels aan zwevende stof gebonden in het water voorkomen. De verdeling wordt bepaald door de chemische eigenschappen van de verontreinigende stof en van het water, zoals het zoutgehalte en de zuurgraad. De verspreiding van verontreinigingen is daarom enerzijds gekoppeld aan die van zwevende stof en anderzijds mede bepaald door ingewikkelde chemische processen. Daardoor kan voor dergelijke stoffen een uitgebreide fysische en chemische modellering noodzakelijk zijn.

tabel 1. De over een maand gemiddelde reststroomdebiet door het Nauw van Calais. (Overgenomen uit [6,7])

Table 2. Residual flows through the Dover Strait 1949 to 1972, in units of $10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mean
1949	201	166	90	151	121	116	105	134	125	242	192	240	157
1950	125	202	148	149	104	158	168	165	226	180	218	134	165
1951	212	272	162	158	70	117	143	221	158	135	218	280	179
1952	148	103	78	135	114	164	122	189	154	151	31	158	129
1953	165	68	126	130	84	94	220	199	212	143	241	144	152
1954	73	132	154	86	118	175	244	185	244	236	275	242	180
1955	118	95	54	123	213	125	68	95	148	145	133	222	128
1956	211	48	138	78	130	144	196	232	172	76	79	247	146
1957	183	189	191	22	74	99	170	205	144	204	140	176	150
1958	185	134	94	78	170	156	199	183	179	146	125	193	153
1959	180	120	139	139	63	136	152	127	78	208	296	354	166
1960	186	185	99	129	101	136	264	151	123	149	335	262	177
1961	231	223	126	133	109	138	157	209	157	241	68	171	164
1962	289	16	107	125	156	146	142	232	159	123	144	200	153
1963	-15	97	172	136	151	146	145	215	140	166	364	120	153
1964	136	107	36	135	176	129	188	140	135	122	159	210	139
1965	204	51	132	129	138	174	187	179	202	147	139	264	162
1966	180	195	122	121	169	154	131	186	182	186	122	185	161
1967	151	226	213	103	190	134	161	172	202	323	183	129	182
1968	157	105	190	129	149	156	113	101	193	184	102	155	145
1969	251	69	79	123	148	98	119	99	124	137	229	142	135
1970	157	147	126	153	110	115	163	136	201	167	266	106	154
1971	206	138	117	83	98	116	112	180	127	202	103	170	138
1972	150	172	159	151	174	177	118	108	81	89	219	335	161
Mean	170	135	127	120	130	137	157	168	161	170	182	201	155
S.D.	70	64	44	50	52	32	65	44	54	62	118	73	23

Table 1. Residual flows through the Dover Strait 1973 to 1980, in units of $10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mean
1973	149	164	120	98	161	119	125	148	134	106	125	156	134
1974	289	256	135	47	111	114	196	142	314*	26†	245	232	176
1975	321*	135	68	136	63	70†	160	133	213	133	104	155	141
1976	181	131	155	57	157	134	108	76†	141	223	206	168	145
1977	193	244	175	164*	76	116	113	125	154	199	207	186	163
1978	205	121	247*	69	73	145	147	133	176	128	231	237	159
1979	143	43	232	123	199	155	163	208	171	163	241	279	177
1980	226	196	113	62	7†	196*	131	186	195	190	107	321	161
Mean	181	142	134	114	124	135	153	162	168	164	182	205	155
S.D.	70	65	49	49	55	33	58	44	55	62	106	70	21

*, Maximum value; †, minimum value.
(Mean and S.D. refer to complete data set 1949 to 1980.)

4. De opbouw van het rekenmodel

4.1. De modelvergelijking

De verspreiding van een stof kan bepaald worden uit de vergelijking voor de massabalans. Naast de termen voor het advectioneel en dispersief transport komen daarin termen voor die de lozing van de stof en de eventuele processen beschrijven. Voor het numeriek oplossen van deze vergelijking wordt het te modelleren gebied opgedeeld in een aantal segmenten waartussen onderling uitwisselingen plaatsvinden en waarbinnen zich allerlei processen kunnen afspeelen. Er kunnen ook massalozingen worden gespecificeerd voor bepaalde segmenten. Tussen welke segmenten uitwisseling (advectioneel en dispersief transport) plaatsvindt hangt af van de gekozen schematisering. Wat voor processen binnen een segment optreden hangt sterk af van de beschouwde stoffen. Door de oorspronkelijke vergelijking over het volume te integreren ontstaat de massabalans voor een segment van het rekenmodel:

$$\begin{aligned} (VC)^{t+\Delta t} - (VC)^t = & \quad \Delta t \quad \Sigma \text{ transporttermen} \\ & + \Delta t \quad \Sigma \text{ massalozingen} \\ & + \Delta t \quad \Sigma \text{ procestermen} \end{aligned} \quad (1)$$

hierin zijn:

C - de concentratie van de betreffende stof in het segment;

V - het volume van het segment (in dit model is het volume van elk segment constant gehouden);

Δt - de tijdstap.

Op een tijdstip $t+\Delta t$ is de massa van een bepaalde stof binnen het segment te bepalen uit de massa die aanwezig was op een vorig tijdstip t en wat er in de tussentijd over alle grensvlakken wordt getransporteerd, wat er is bijgekomen ten gevolge van lozingen of omgezet door processen. Hieruit kan vervolgens de concentratie berekend worden.

Voor de feitelijke oplossing van de modelvergelijking wordt het computerprogramma DELWAQ gebruikt, dat daarvoor een groot aantal numerieke methoden kent [19,22]. Deze methoden verschillen vooral in de manier waarop de termen voor het advectioneel transport worden benaderd. Voor deze studie zijn in de modelvergelijking de procestermen weggelaten, omdat alle stoffen als conservatief werden beschouwd. De lozingstermen werden gebruikt voor het modelleren van de inbreng van stoffen door de rivieren en afwateringen.

Voor de benadering van de over een jaar gemiddelde verdeling van de saliniteit werd verondersteld, dat deze verdeling alleen bepaald wordt door de over dezelfde periode gemiddelde waarden van het reststroomdebiet, de dispersie en de rivierdebieten.

Voor de benadering van de gemiddelde verdeling van de nutriënten werd dezelfde veronderstelling gemaakt over de lozingen. Voor de gemiddelde verdeling geldt dat de concentratie van de diverse stoffen constant is:

$$(VC)^{t+\Delta t} - (VC)^t = 0 \quad (2)$$

Daardoor reduceert de massabalans voor de als conservatief beschouwde stoffen tot een vergelijking die met een impliciete methode kan worden opgelost:

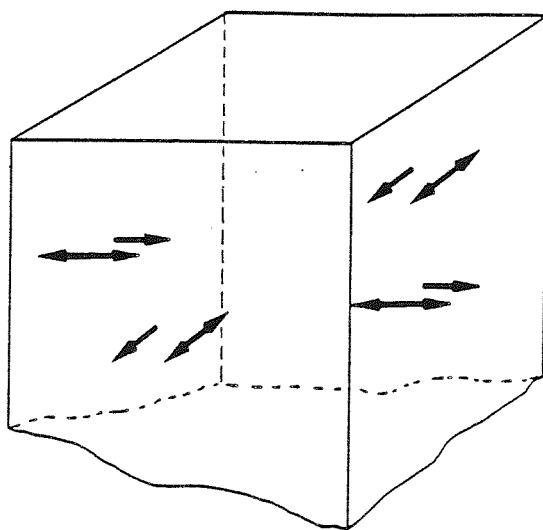
$$\Sigma (\text{rest})\text{transporttermen} + \Sigma \text{massalozingen} = 0 \quad (3)$$

In de modelvergelijking (1) komen voor elk grensvlak van een segment twee transporttermen voor, omdat het transport uiteen valt in twee soorten, het dispersief transport en het advectioneel transport (zie onderstaande figuur). Het dispersief transport door een grensvlak wordt bepaald door de concentratiegradiënt loodrecht erop:

$$\text{dispersief transport}_{i,j} = D A \frac{C_i - C_j}{\Delta x} \quad (4)$$

Hierin zijn:

A - de oppervlakte van het grensvlak tussen de segmenten i en j; D - de dispersiecoëfficiënt; Δx - de afstand tussen de middens van de segmenten; C_i en C_j de concentraties in de segmenten i en j aan weerszijden van het grensvlak.



Advectief en dispersief transport door de grensvlakken van een rekensegment.

Het advectief transport over dit grensvlak kan als volgt bepaald worden:

$$\text{advectief transport}_{i,j} = Q \frac{1}{2}(C_i + C_j) \quad (5)$$

(Q is het debiet door het grensvlak.) Het gehalte op het grensvlak van de beide segmenten wordt benaderd met het gemiddelde van dat van de segmenten zelf.

4.2. Het begrip dispersie

Het begrip dispersie omvat drie onderdelen, de moleculaire diffusie, de turbulente diffusie en de zogenoemde aggregatiedispersie. Moleculaire diffusie is een fysisch transportproces waarvan de grootte een functie is van de concentratiegradiënten. De coëfficiënt die bij de moleculaire diffusie hoort, heeft een waarde in de orde van $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

Turbulente menging is een tweede fysisch transportproces dat in dit kader genoemd moet worden. Hoewel het verschijnsel in de transportvergelijking doorgaans wordt ondergebracht bij de diffusie-term, gaat het om advectief transport.

De tijd- en lengteschalen van turbulente stromingen zijn zeer klein t.o.v. de schalen van die voor de waterkwaliteit van belang zijn. Het netto resultaat van de turbulente menging op grotere tijd- en lengteschalen blijkt vaak benaderd te kunnen worden als diffusief transport. Alleen hangt de diffusiecoëfficiënt die men daarbij nodig heeft, af van de eigenschappen van de stroming. De coëfficiënt ligt doorgaans in de orde van 0,1 tot $1 \text{ m}^2/\text{s}$, zodat turbulente menging veel belangrijker is dan moleculaire diffusie.

De aggregatiedispersie geeft de belangrijkste bijdrage aan het dispersief transport [16]. In oorsprong gaat het ook weer om advectie. Door de meer of minder grove schematisering van het model en de middeling over de waterkolom kunnen gradiënten in het advectief transport over het grensvlak tussen twee rekensegmenten niet meegenomen worden in de advectietermen. Vanwege de middeling over het getij wordt de variatie in het advectief transport over de

getijperiode niet meegenomen. De termen in de exacte vergelijking die hiermee corresponderen, leveren wel een bijdrage aan het transport en hebben dus invloed op de oplossing. Over het algemeen kan het effect benaderd worden m.b.v. extra dispersief transport. De waarde van de bijbehorende coëfficiënt hangt echter af van het specifieke probleem en moet door ijking vastgesteld worden. In zijn algemeenheid geldt dat hoe minder dimensies meegenomen worden in de berekening, hoe hoger de toegevoegde dispersieterm moet worden gekozen.

Bij de stationaire en dynamische berekeningen, die voor deze studie werden uitgevoerd, werd een dispersiecoëfficiënt van $150 \text{ m}^2/\text{s}$ gebruikt. De dispersiecoëfficiënt werd bepaald door vergelijking van de berekeningsresultaten met de gemiddelde meetgegevens van de saliniteit uit het routinematig onderzoek WAKWON. Daar de middeling over het getij en de diepte de grootste bijdrage levert aan de toegevoegde dispersie, is voor de dynamische berekeningen dezelfde waarde gebruikt.

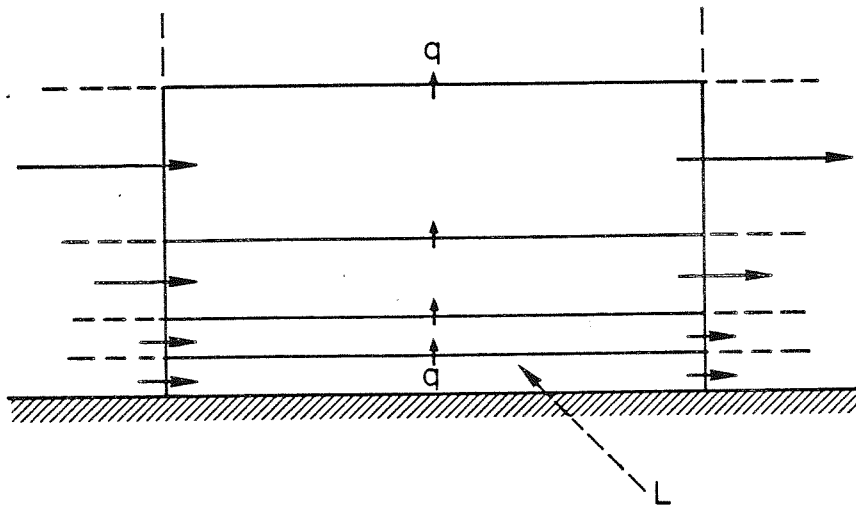
4.3. Schematisering van het model

Bij de eerste opzet van het model is uitgegaan van het meetnet dat voor de metingen door Rijkswaterstaat is gebruikt en de vooronderstelling dat de over een jaar gemiddelde reststroming parallel is aan de kust (figuur 1). De segmenten van het model zijn voor het grootste deel verdeeld over twaalf raaien. Tien daarvan komen overeen met de meetraaien. Voor het gebied ter hoogte van de Waddenzee zijn in het model twee raaien toegevoegd. Vanwege deze schematisering kunnen de modelresultaten vrijwel direct vergeleken worden met de meetgegevens en kan de reststroming eenvoudig worden gemodelleerd.

In het model is de reststroming is geschematiseerd als een stroom parallel aan de kust (zie onderstaande figuur). Om te voorkomen dat de reststroming toeneemt als gevolg van rivierinstromingen is verondersteld dat de zoetwaterafvoer een stroom loodrecht op de kust veroorzaakt. De verdeling van het totale reststroomdebiet over de verschillende segmenten op een raai is voor alle raaien uniform gekozen. De verdeling is bepaald door de enigszins arbitraire eis dat bij de raai van Appenzak de reststroomsnelheid uniform is. Voor de overige raaien wordt aan deze eis maar bij benadering voldaan. Het debiet van de stroom loodrecht op de kust is voor elk segment op een raai gelijk. De grootte is gelijk aan het rivierdebiet. Zonder deze dwarsstroming lopen de

stroomlijnen van de reststroming min of meer parallel aan de kust. Door de afvoer van bijvoorbeeld de Nieuwe Waterweg worden de stroomlijnen in het model enigszins van de kust afgebogen. Hierdoor wordt een eerste benadering verkregen van de invloed van de rivierafvoer op het stromingspatroon. Door de schematische benadering is de volumebalans van de stroming eenvoudig te controleren.

De volumestroom die met de rivierafvoeren is geassocieerd is van belang voor de concentratieberekeningen. Wanneer de afvoer van stoffen door een rivier uitsluitend wordt gemodelleerd als een massalozing (in de figuur $q = 0$), dan kan de stofconcentratie in het segment waarin de lozing plaatsvindt een grotere waarde bereiken dan in het rivierwater. In het model wordt de afvoer van stoffen door een rivier altijd weergegeven door een massalozing en een volumestroom, zodat dit effect niet optreedt.



Schematisering van de reststroming en de rivierafvoer in het model. In het segment aan de kust vindt een massalozing L plaats.

Het debiet van de over een jaar gemiddelde reststroming dat in het model werd gebruikt, werd gebaseerd op de gemiddelde waarde die Prandle voor het Nauw van Calais heeft geschat ($155 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$) en een schatting van het gedeelte van de reststroming dat daadwerkelijk door de strook gaat van 80 km breed. De uiteindelijke waarde van het reststroomdebiet die voor de stationaire berekeningen werd gebruikt, is $76 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$. Met de veronderstelling dat de reststroomsnelheid uniform is langs de raai, werd deze totale volumestroom over de segmenten van de raai van de Appelzak verdeeld. De stroomsnelheid bedraagt daar volgens het model circa 3,8 cm/s. Voor alle volgende raaien werden dezelfde waarden van de reststroomdebieten gespecificeerd.

Voor de zoetwaterdebieten die in het model werden opgenomen zijn zoveel mogelijk de weekcijfers voor 1980 gebruikt. Van de Eems waren geen gegevens beschikbaar en er is een waarde van $100 \text{ m}^3/\text{s}$ aangenomen. Voor de Oosterschelde waren alleen globale gegevens beschikbaar, zodat in alle berekeningen een vaste waarde is gebruikt. De volumestroom behorend bij de afvoer van zoet water uit het IJsselmeer tenslotte werd verdeeld over drie rijen cellen in de vaste verhouding 6:1:2. De waarden die voor de stationaire berekening zijn gebruikt zijn samengevat in tabel 2.

tabel 2. De debieten die in het model zijn gebruikt.

De zoetwaterdebieten zijn gemiddeld voor 1980.

zoetwaterdebieten	
raai	debiet (m ³ /s)
Appelzak	162
Walcheren	0
Schouwen	60
Goeree	886
Ter Heijde	1557
Noordwijk	13
Egmond	117
Callantsoog	323
-	54
Terschelling	108
-	47
Rottumerplaat	100

reststroomdebieten		
segment (afstand tot de kust (km))	debiet (10 ³ m ³ /s)	
1. 80 - 60	24,6	
2. 60 - 40	21,1	
3. 40 - 20	19,2	
4. 20 - 10	7,3	
5. 10 - 5	2,2	
6. 5 - 0	1,6	

5. Gemiddelde verdeling van de saliniteit

5.1. Reststroming evenwijdig aan de kust

Uit studies naar de reststroming in de Noordzee is bekend, dat de stroomlijnen ter hoogte van Terschelling dichter op de kust lopen en even ten noorden daarvan weer uiteen gaan, maar de mate van convergentie is slecht bekend (zie figuur 2). In deze studie wordt getracht het feitelijke stromingspatroon te benaderen d.m.v. de waargenomen saliniteitsverdeling. Wanneer de reststroming werkelijk dit patroon vertoont, dan treedt er advectief transport op in de richting loodrecht op de kust. Het water dat door de Rijn, de Maas en de Schelde naar zee wordt gevoerd is wordt in dat geval geconcentreerd in een smalle strook langs de kust en op geringe afstand van de kust treedt er een hoog zoutgehalte op.

Aangezien de saliniteit een conservatieve grootte is, speelt bij de verspreiding ervan alleen het transport langs de kust en de zoetwaterafvoer een rol. Wanneer deze twee aspecten goed worden benaderd in het transportmodel, dan horen de modelresultaten in overeenstemming te zijn met de metingen. De resultaten die werden bereikt met de veronderstelling dat de reststroming evenwijdig is aan de kust, vertonen echter op een aantal punten sterke afwijkingen van de metingen (figuren 3 t/m 7). Op de raaien van Noordwijk, Egmond, Callantsoog en Terschelling is de saliniteit die met het model is berekend veel lager dan de gemeten waarden, met name bij de laatste twee raaien. De metingen laten zien dat op 30 tot 70 km afstand de saliniteit circa 34 promille bedraagt en op kleinere afstand vrij snel afneemt. Volgens het model neemt de saliniteit geleidelijk af naarmate de afstand tot de kust kleiner wordt. Bij Rottumerplaat zijn de waarden die voor het gebied ver uit de kust worden berekend wel in overeenstemming met de gemeten waarden. Voor het gebied langs de kust zijn de berekende waarden te hoog in vergelijking met de metingen. Mogelijkerwijs is de waarde die voor het debiet van de Eems is gebruikt niet correct en wordt de uitwisseling van het estuarium van de Eems-Dollard en de Waddenzee met de Noordzee onderschat.

De raaien ten zuiden van Noordwijk tonen nog andere verschillen tussen modelresultaten en metingen (figuren 3, 4 en 5). De saliniteit die voor de strook op wat grotere afstand van de kust (meer dan 30 km) wordt berekend is redelijk in overeenstemming met de gemeten waarden. De discrepanties doen zich vooral voor in de strook van 30 km breed langs de kust.

De raai van de Appelzak vormt de onderste begrenzing van het modelgebied, zodat de zoutgehalten daar vrijwel alleen bepaald worden door de randvoorwaarden. Het verloop van de saliniteit op deze raai en de raai van Walcheren kan door dit model niet verklaard worden vanwege de bijzondere eigenschappen van het getij voor de Zuidnederlandse kust [21]. Het getij induceert een gemiddeld transport van stof in zuidelijke richting, terwijl de over het getij gemiddelde stroming noordelijk is gericht. In het rekenmodel wordt alleen de reststroming meegenomen. Daarmee kan in het grootste deel van het modelgebied het gemiddelde transport beschreven worden. Het gevolg is echter, dat in het model het water uit de Schelde noordwaarts getransporteerd wordt, terwijl het in werkelijkheid eerst naar het zuiden wordt gevoerd.

Bij de raaien van Goeree en Ter Heijde zijn grote verschillen te zien tussen de berekeningen en de metingen. De waarden van de saliniteit die voor Goeree worden berekend, zijn te hoog in vergelijking met de metingen, terwijl de berekende waarden voor Ter Heijde te laag zijn (zie figuren 4 en 5). De verschillen zijn ten dele toe te schrijven aan de gebruikte numerieke methode, omdat het resultaat met achterwaartse differenties veel kleinere verschillen te zien geeft. Bij de stationaire berekeningen is gebruik gemaakt van centrale differenties voor het benaderen van de transporttermen. Wanneer het advectief transport groter is dan het dispersief transport, kunnen in een beperkt gebied slingeringen optreden. Door achterwaartse differenties worden dergelijke slingeringen onderdrukt, maar de oplossing als geheel wordt onnauwkeurig, doordat er extra dispersie wordt geïntroduceerd. Door de schematisering te verfijnen kan dit numerieke effect worden verholpen.

Een tweede oorzaak voor de verschillen ligt in de beschrijving van de fysische verschijnselen in de monding van de Nieuwe Waterweg en bij de Haringvlietsluizen. Bij de modellering is er vanuit gegaan dat de saliniteit niet of nauwelijks over de diepte varieert. In werkelijkheid doen zich bij de monding van de Nieuwe Waterweg en bij de Haringvlietsluizen zeer gecompliceerde stromingen

voor waarbij het verschil in dichtheid tussen zoet en zout water een grote rol speelt [1,14]. Uit metingen blijkt dat de veronderstelling dat de saliniteit homogeen is over de diepte pas correct ten noorden van Egmond [1]. Bovendien wordt door het getij zoet water uit de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen naar het zuiden getransporteerd. Door lokaal de dispersiecoëfficiënt aan te passen kan een kwantitatief beter resultaat worden bereikt. Dit heeft echter geen kwalitatief betere beschrijving voor de raaien van Goeree en Ter Heijde tot gevolg, omdat de stromingsverschijnselen in dit deel van het kustgebied niet beter worden beschreven.

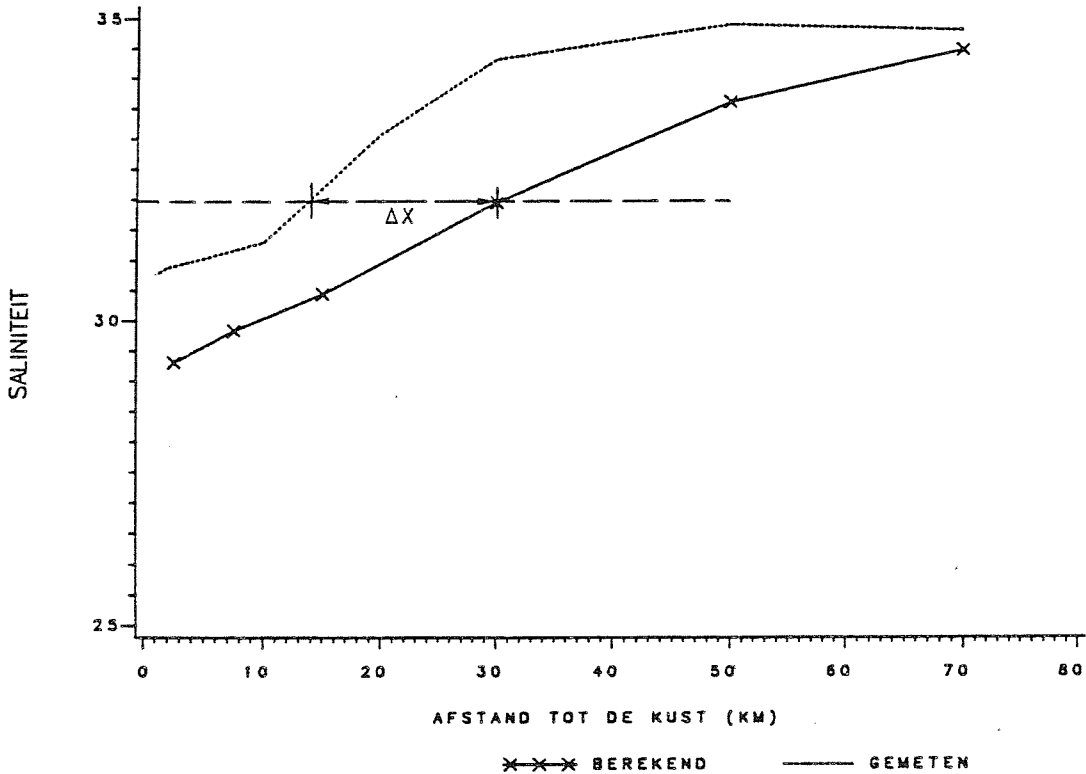
Het feit dat het zoutgehalte ter hoogte van Noordwijk en Egmond niet homogeen is over de diepte heeft ook gevolgen voor de betekenis van de metingen. Het zoutgehalte is namelijk alleen aan de oppervlakte gemeten. zodat de werkelijke over de diepte gemiddelde saliniteit hoger is dan uit de metingen blijkt. Het gebied waarin dit optreedt is circa 25 km breed bij Ter Heijde en Noordwijk en wordt geleidelijk smaller. Daarbuiten is de saliniteit uniform over de diepte. De beschrijving m.b.v. het huidige model schiet voor het gebied waar verticale gradiënten in het zoutgehalte optreden tekort.

Bij de berekening is een dispersiecoëfficiënt gebruikt van $150 \text{ m}^3/\text{s}$ en een reststroomdebiet van $76.10^3 \text{ m}^3/\text{s}$. Doordat in de waarde van het reststroomdebiet nog enige onzekerheid zit en de dispersiecoëfficiënt geijkt moet worden, zouden andere waarden van deze grootheden betere resultaten kunnen opleveren. Verhoging of verlaging van de dispersiecoëfficiënt blijkt voornamelijk van invloed op de concentratie in segmenten dichtbij de kust (figuur 8). Een lagere dispersiecoëfficiënt leidt tot lagere zoutgehalten langs de kust. De saliniteit op grotere afstand wordt niet of nauwelijks beïnvloed. Met een groter reststroomdebiet (anderhalf maal zo groot) is het resultaat evenmin in overeenstemming met de metingen (figuur 9). Het zoutgehalte dat in dat geval wordt berekend voor de raai van Callantsoog is wat hoger dan bij de eerdere berekening, maar het is te laag t.o.v. de gemeten waarden. Hieruit kan men de conclusie trekken, dat de veronderstelling dat de reststroming evenwijdig is aan de kust niet juist is. Het patroon van de reststroming zoals dat in het model is geschematiseerd wijkt in het gebied tussen Egmond en Terschelling af van het patroon van de werkelijke reststroming.

5.2. Aanpassing van de schematisering

De hoge zoutgehalten op vrij kleine afstand van de Noordnederlandse kust kunnen in het transportmodel alleen verklaard worden door de modellering van de reststroming langs de kust te wijzigen. De methode die daarvoor gekozen werd is het verleggen van de segmenten naar de kust, waarbij de segmenten tegelijk wat smaller worden. De benodigde verplaatsing kan bij benadering afgeleid worden uit het verloop van de gemeten en berekende saliniteit (zie onderstaande figuur). Uit een nieuwe berekening blijkt dan of de berekende saliniteit beter overeenkomt met de waargenomen waarden.

Een andere methode om het model aan te passen is dat er in het model aan de reststroming langs de kust een component loodrecht op de kust wordt toegevoegd. Deze methode heeft een aantal nadelen. Ten eerste is het moeilijk te schatten hoe de tweede component moet worden geschematiseerd om een betere overeenkomst te krijgen met meetgegevens. Ten tweede moet rekening gehouden worden met de continuïteit van de reststroming, zodat de beide componenten niet onafhankelijk zijn van elkaar. Een stroom naar de kust toe moet bijvoorbeeld worden gecompenseerd door een versnelling van de stroom langs de kust. Ten derde blijkt het op numerieke gronden voordelig te zijn, dat het advectief transport voornamelijk parallel is aan de roosterlijnen.



Verlegging van de segmenten op basis van de metingen (kruisjes geven de ligging van de segmentpunten weer).

Het patroon dat op deze wijze voor de reststroming werd geconstrueerd vertoont een grote overeenkomst met het patroon dat uit andere studies bekend is (figuur 10). Langs de kust van Noord-Holland vindt een convergentie plaats van de stroomlijnen en ter hoogte van Texel is de samentrekking maximaal. Wanneer men de reststroming nog verder zou willen volgen, dan moet rekening gehouden worden met de onnauwkeurigheid van de schematisering. In het zeegebied ten noorden van de Waddeneilanden zijn maar weinig meetpunten gesitueerd. Het verloop van de saliniteit bij de raai van Rottumerplaat (figuur 7) lijkt erop te

duiden, dat de stroomlijnen daar weer uiteen waaieren. Het verschil tussen het berekende verloop en de metingen kan ook te wijten zijn aan een onderschatting van de uitwisseling tussen het estuarium en de Noordzee. Bij het wijzigen van de schematisering is er daarom voor gekozen de segmenten op deze raai niet te verplaatsen. Ten zuiden van Noordwijk is de schematisering evenmin aangepast, omdat in dit gebied de verspreiding niet beschreven kan worden met alleen de reststroming. Er zijn wel kleine verschuivingen aangebracht om een geleidelijk overgang naar de raai van Noordwijk te krijgen. Desondanks is er een knik te zien bij de raaien van Goeree en Ter Heijde. De afstanden van de segmenten tot de kust in de gewijzigde schematisering zijn vermeld in tabel 3.

tabel 3. De afstanden van de diverse punten in de nieuwe schematisering. In de oorspronkelijke schematisering waren deze afstanden steeds respectievelijk: 70, 50, 30, 15, 7,5 en 2,5 km.

raai	afstand tot de kust (km)					
Appèlzak	70	50	30	15	7,5	2,5
Walcheren	70	50	30	15	7,5	2,5
Schouwen	70	50	30	15	7,5	2,5
Goeree	68	48	28	13	7	2,5
Ter Heijde	64	44	25	11	5	1
Noordwijk	58	38	21	10	4	1
Egmond	50	31	18	9	4	1
Callantsoog	38	23	14	8	4	1
-	31	19	13	8	4	1
Terschelling	38	22	14	9	5	1
-	58	38	23	13	6	2
Rottumerplaat	70	50	30	15	7,5	2,5

5.3. De resultaten voor de saliniteit

Het ingeregelde model is in staat de verspreiding van conservatieve stoffen voor de kust van Noord-Holland te beschrijven. Voor het gebied ten zuiden van Noordwijk voldoet de beschrijving van het transport d.m.v. de gemiddelde stroming niet. Voor het gebied ten noorden van de Waddeneilanden zijn te weinig gegevens beschikbaar om het model te verifiëren.

De saliniteit die voor de vier raaien wordt berekend, is goed in overeenstemming met de gemiddelde gemeten waarden (figuren 11 en 12). Bij Terschelling is de berekende saliniteit over de gehele raai wat te laag in vergelijking met de metingen. Waarschijnlijk behoren de segmenten in het model nog enigszins te worden verlegd. Bij de raai van Noordwijk doen zich ook enkele afwijkingen voor. De waarden die dicht bij de kust zijn gemeten zijn hoger dan de waarden die het model berekent. Het zoutgehalte op wat grotere afstand is volgens het model echter hoger dan volgens de metingen. Dit hangt samen met het feit dat voor Ter Heijde veel te lage zoutgehalten worden berekend (figuur 13). Het resultaat voor Noordwijk kan verbeterd worden door bij de raaien van Goeree en Ter Heijde lokaal de dispersiecoëfficiënt aan te passen (paragraaf 5.1). Dit leidt althans tot een betere kwantitatieve overeenkomst met de gemeten waarden.

6. De verspreiding van nutriënten

De nutriënten, stikstof, fosfor en silicium, zijn onderhevig aan biologische en chemische processen. Enkele van de belangrijkste processen zijn: opname van nutriënten door algen en afgifte ervan bij de mineralisatie van dode algen (detritus). Verder zijn er meerdere processen die zorgen voor de uitwisseling van stoffen tussen de waterkolom en de bodem. Dit betreft ondermeer sedimentatie en erosie van stoffen die aan zwevend materiaal zijn gebonden en tevens kunnen nutriënten als ammonium en fosfaat uit de bodem vrij komen door mineralisatieprocessen in of bij de bodem. Daar veel processen afhankelijk zijn van de temperatuur, de lichtintensiteit en de windcondities (golven en turbulentie), is er een sterke seizoensafhankelijkheid.

Bij veel van de genoemde processen gaat het om de omzetting van de ene stikstof- of fosforverbinding in de andere. De totale hoeveelheid nutriënten in de waterfase wordt daardoor niet beïnvloed. Processen die wel het totale gehalte beïnvloeden zijn de uitwisseling met de bodem en denitrificatie, waarbij stikstof in de vorm van moleculair stikstof vrijkomt en niet meer voor algen bruikbaar is.

Met het model is geprobeerd na te gaan of zulke processen een rol spelen in de totale nutriëntenbalans. Er werd bij de berekeningen verondersteld dat het gehalte aan nutriënten net als saliniteit een conservatieve grootte is. Aangezien bij een proces als bezinking massa uit de waterkolom verdwijnt, komen de berekende waarden te hoog uit t.o.v. de gemeten gehalten, als er in werkelijkheid netto bezinking optreedt. Daar staat tegenover, dat afwijkingen in de lozingsgegevens ook afwijkingen in de massabalans veroorzaken. Bij de berekening van de saliniteit speelt dit minder een rol, omdat de afvoer van zoet water dagelijks gemeten wordt. Bij opgeloste of aan zwevend materiaal verbonden stoffen wordt wel de concentratie in het rivierwater gemeten, maar dat gebeurt minder frequent en de analysefouten zijn voor sommige stoffen relatief groot t.o.v. de meetwaarde. Daardoor is de hoeveelheid afgevoerde stof niet nauwkeurig bekend. De conclusies die uit deze berekeningen getrokken mogen worden, zijn mede afhankelijk van de nauwkeurigheid van de lozingsgegevens.

In tabellen 4 en 5 zijn de gegevens over de lozing van de diverse nutriënten vermeld die in de berekening zijn gebruikt. De waarden van de lozingen zijn

gebaseerd op de gegevens uit het Waterkwaliteitsplan Noordzee (aangeduid met WKP; [15]) en een onderzoek naar de herkomst van contaminanten (aangeduid met S 598; [18]). Het Waterkwaliteitsplan levert gedetailleerde informatie over de verschillende lozingsbronnen langs de kust, maar van de nutriënten zijn alleen de totale hoeveelheid stikstof en fosfor vermeld. Gegevens over silicium ontbreken geheel. Het onderzoek naar de herkomst van contaminanten levert daarentegen gedetailleerde informatie over de afvoer van een groot aantal stoffen voor een beperkt aantal lozingsbronnen.

Voor de totale hoeveelheid stikstof en fosfor zijn de gegevens van het Waterkwaliteitsplan gebruikt, omdat deze gegevens vrijwel compleet zijn voor de Nederlandse kust. De opsplitsing van de totale vrachten aan stikstof en fosfor in de diverse onderdelen is gedaan door de gegevens van beide bronnen te combineren. Voor de afvoeren waarvoor geen gedetailleerde gegevens beschikbaar waren, onder andere het Noordzeekanaal, is een schatting gemaakt van de verdeling op basis van de verdeling in de andere lozingsbronnen.

tabel 4. Gegevens over de vrachten voor stikstofverbindingen. De hoeveelheden zijn gedeeltelijk gebaseerd op het WKP Noordzee [15] en gedeeltelijk op het onderzoek naar de herkomst van contaminanten [18]. Eenheid van de vermelde getallen: kton/jaar (gegevens 1980)

lozing	NO3-N	NH4-N	Kjd-N	tot-N
Schelde	20,3	15,3	23,2	43,5
monding Westerschelde	7,1	1,2	4,4	11,5
Oosterschelde	1,4	0,5	1,5	2,9
Haringvliet	87	16	33	120
Nieuwe Waterweg	192	34	85	277
Den Haag	6,0	4,0	9,0	15,0
Noordzeekanaal	7,4	4,4	10,5	18,0
IJsselmeer	36,7	4,1	29,7	65,4
Lauwerszee	2,6	1,4	2,7	5,3
Eems-Dollard	0,9	0,4	1,0	1,9
monding Eems	20,0	10	21,9	41,9

tabel 5. Gegevens over de vrachten voor fosfor (ortho-fosfaat en totaal-fosfor) en opgelost silicium. (Bronnen: [15,18]). Eenheid van de vermelde getallen: kton/jaar (gegevens 1980)

	o-PO4	tot-P	opg Si
Schelde	3,0	5,75	26,8
kanaal Gent-Terneuzen	2,1	4,0	20,2
Oosterschelde	0,1	0,2	-
Haringvliet	8,0	12,0	80,2
Nieuwe Waterweg	31,0	48,4	122,1
Den Haag	1,13	2,16	-
Noordzeekanaal	1,5	2,3	7,3
IJsselmeer	2,2	5,2	12,6
Lauwerszee	0,5	0,9	-
Eems-Dollard	0,2	0,46	-
monding Eems	1,6	3,2	-

6.1. De massabalans voor stikstof

Stikstof komt in het algemeen in een viertal vormen in water voor, namelijk als component in organische verbindingen, als ammonium, als nitriet en nitraat. Op grond van de meetmethode worden de eerste twee componenten samengevat in het begrip Kjeldahl-stikstof (in tabel 4 aangeduid met Kj-d-N) en de laatste twee in de term nitraat. In de berekeningen zijn de totale concentratie stikstof, Kjeldahl-stikstof, ammonium en nitraat plus nitriet betrokken. Het aandeel van nitriet in de massabalans is zeer gering. Tussen de metingen en de berekeningsresultaten treden enige verschillen op die kunnen duiden op de invloed van processen (figuren 14 t/m 17).

De totale concentratie die voor het segment vlak aan de kust wordt berekend is redelijk in overeenstemming met de gemeten waarde. Op grote afstand van de kust wordt de berekende concentratie niet bepaald door de lozingen, maar door de randvoorwaarden. De waarden die op de rand zijn gespecificeerd zijn uit de metingen afgeleid. Dit bepaalt voor een deel de overeenkomst tussen metingen en berekeningen voor het gebied op grote afstand van de kust. In de strook daartussen lopen de berekende en gemeten waarden wel uiteen. Volgens de metingen daalt de stikstofconcentratie sterker dan volgens de berekeningen. Dit is mogelijk een effect van de bezinking van particulier organisch materiaal.

De resultaten van de berekening voor stikstof in de vorm van nitriet en nitraat zijn over het geheel genomen vrij goed in overeenstemming met de metingen. De berekende waarden zijn hier en daar hoger dan de metingen. De grootste afwijkingen doen zich echter voor in het gebied vlak bij de kust. De berekende waarden zijn daar beduidend lager dan de gemeten. De metingen tonen een scherpe daling van de concentratie in het gebied tot tien kilometer afstand, terwijl het verloop volgens de berekeningen geleidelijk is. Voor Kjeldahl-stikstof en ammonium geldt dat de berekende gehalten ongeveer 30% hoger zijn dan de gemeten waarden. Dit is mogelijk te wijten aan de bezinking van organisch materiaal. Bij nitriet en nitraat speelt bezinking niet rechtstreeks een rol, omdat deze twee stoffen in het zeewater opgelost zijn.

6.2. De massabalans voor fosfor

Fosfor is in de waterkolom aanwezig in de vorm van fosfaat. Er wordt onderscheid gemaakt tussen opgelost fosfaat (ortho-fosfaat) en fosfaat dat aan zwerende stof (bijvoorbeeld organisch materiaal) is verbonden (particulair fosfaat). In de berekening van de massabalans zijn de concentratie aan ortho-fosfaat meegenomen en het totale gehalte aan fosfor in de waterkolom (totaal fosfor), omdat dit de twee grootheden zijn die bij een chemische analyse worden gemeten (figuren 18 t/m 21).

Het totale gehalte aan fosfor dat op basis van de massabalans werd berekend is vrijwel overal te hoog in vergelijking met de metingen. Op een afstand van enkele kilometers tot de kust bedraagt het verschil circa 50%. Net als bij de balans voor stikstof is het verloop van de gemeten waarden beduidend anders dan het verloop van de berekende. De metingen laten voor de eerste paar kilometers een sterke daling zien en de berekeningen tonen een veel geleidelijker verloop.

De berekeningen en metingen zijn voor ortho-fosfaat kwantitatief weliswaar niet in overeenstemming, maar het verloop van berekende gehalten komt goed overeen met de gemeten waarden. De berekende gehalten zijn overal ongeveer 50% hoger dan de gemeten waarden. Omdat ortho-fosfaat in water is opgelost, kan niet rechtstreeks bezinking optreden. Het verdwijnen van ortho-fosfaat zou mogelijk verklaard kunnen worden uit de consumptie ervan door algen (ortho-fosfaat wordt omgezet in particulier fosfaat) die later bezinken.

6.3. De massabalans voor silicium

De derde nutriënt waarvoor de massabalans werd bekeken, is silicium. Dit wordt gebruikt door een bepaald type algen (diatomeeën), terwijl de andere twee nutriënten door alle soorten algen worden opgenomen. Bij metingen wordt het gehalte aan opgelost silicaat bepaald. Er zijn geen gegevens voorhanden van de totale hoeveelheid silicium in de waterkolom. Bovendien ontbreken in het Waterkwaliteitsplan de lozingsgegevens voor silicium, zodat er maar een bron gebruikt kon worden. De uitkomsten van het model voor deze stof zijn daarom enigszins onzeker.

Wanneer de gebruikte vrachten juist zijn, dan mag geconcludeerd worden, dat ook voor opgelost silicaat processen belangrijk zijn (figuren 22 en 23). De berekende gehalten komen voor alle raaien circa 30% hoger uit dan de gemeten gehalten. Wanneer echter voor de vrachten te grote waarden zijn gebruikt, dan zouden er soortgelijke afwijkingen zijn opgetreden.

7. Dynamische berekeningen voor de saliniteit

De saliniteit in de kuststrook kan variëren als gevolg van veranderingen in de rivierafvoer en als gevolg van variatie in de reststroming. De reststroming kan variëren vanwege de doortij-springtij-cyclus maar vooral onder invloed van de weersomstandigheden (wind en luchtdrukverschillen). Met het model is geprobeerd inzicht te krijgen in de effecten van dergelijke variaties.

Bij de dynamische berekeningen is impliciet verondersteld dat de variaties in de over het getij gemiddelde stroming beperkt blijven tot variaties in de stroomsnelheid. Er wordt dus verondersteld dat het stromingspatroon niet verandert, zodat de schematisering van het model, die is verkregen met behulp van de gemiddelde saliniteit, niet aangepast hoeft te worden. Als het stromingspatroon belangrijke wijzigingen zou ondergaan, is een model als dit niet langer bruikbaar. Door de middeling van de massabalans over de diepte kunnen eventuele effecten van een verticaal verloop in de stroomsnelheid zoals die door de wind veroorzaakt kan worden (oppervlaktestromingen) niet meegenomen worden.

7.1. De invloed van de rivierafvoer

Om de invloed van variaties in de rivierafvoer te beschouwen werd in eerste instantie uitgegaan van constante reststroming langs de kust. Berekende variaties in de saliniteit zijn dan het gevolg van variaties in de afvoer van rivieren en afwateringen. De belangrijkste afvoeren in het gebied zijn de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen. De gemiddelde debieten voor 1980 waren respectievelijk 1557 en 886 m³/s (tabel 1). Het debiet door de Nieuwe Waterweg ligt steeds in de orde van 1500 m³/s, omdat de Haringvlietsluizen daarop worden afgeregeld. Wanneer de Rijn veel water afvoert, dan wordt het overschot aan water voor het grootste deel door de sluizen geleid. Het resultaat is dan ook, dat het debiet uit de sluizen sterk varieert, van vrijwel geen debiet tot 5000 m³/s, terwijl de afvoer van de Nieuwe Waterweg vrij constant is (figuur 24). In 1980 traden er twee pieken op in de zoetwaterafvoer. In februari was er een piek die ruim een week duurde en in juli en augustus was er een piek die ongeveer een maand duurde. Bij de piek in juli en augustus was het hoogste debiet niet meer dan 4000 m³/s, maar door de lange duur ervan komt deze in de over een maand gemiddelde afvoer sterker naar voren. De piek in december valt net op de grens van de rekenperiode. Er werden twee berekeningen

gedaan met constante reststroming, één met per maand gemiddelde debieten voor alle afvoeren en één met per week gemiddelde afvoeren voor de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen (figuren 25 en 26). De berekening met maandcijfers laat voor de raai van Noordwijk een zeer vloeiend verloop zien. Er treden twee dalingen op in de saliniteit, die overeenkomen met de pieken in de per maand gemiddelde debieten. Bij Ter Heijde is wat meer variatie te zien, maar daar vallen vooral de knikken op in het verloop van de saliniteit. Hieruit blijkt dat een berekening met over een maand gemiddelde waarden te grof is. De insteltijd van het model blijkt van dezelfde orde van grootte.

Bij de tweede berekening werden voor de afvoer van de Haringvlietsluizen en de Nieuwe Waterweg over een week gemiddelde waarden gebruikt en voor de overige afvoeren maandcijfers. De berekening toont voor de saliniteit op de raai van Noordwijk meer variatie. Bovendien heeft de eerste afvoergolf meer invloed, zodat de berekende saliniteit in februari lager is dan in juli en augustus. Voor Ter Heijde worden waarden berekend tussen 35 promille ver uit de kust en 15 promille vlak bij de kust. De daling in de saliniteit valt bij Noordwijk een week later dan bij Ter Heijde.

Het verloop van de gemeten waarden heeft een geheel ander karakter. Er doet zich bij Noordwijk in het begin van februari een daling in de saliniteit voor. Volgens het model treedt pas enkele weken later een daling op. In juli en augustus is er geen scherpe daling te zien in de gemeten saliniteit in tegenstelling tot wat de modelresultaten laten zien. De saliniteitsmetingen laten een daling in het begin van juni zien en een stijging eind september. Volgens het model daalt de saliniteit enigszins in de periode april en mei, terwijl volgens de metingen de saliniteit dan juist oploopt.

Uit de verschillen tussen de metingen en de modelresultaten kan worden geconcludeerd dat de variatie in de saliniteit niet alleen wordt bepaald door variatie in de zoetwaterdebieten. Als volgende stap werd daarom geprobeerd in het model de invloed van de wind op te nemen.

7.2. De invloed van variabele reststroming

De reststroming kan opgebouwd gedacht worden uit twee componenten, namelijk de door het getij geïnduceerde reststroming en de door de wind gedreven stroming. De eerste component kan variatie vertonen ten gevolge van de doortijdspringtjicyclus, waardoor in een periode van twee weken de amplitude van de getijgolf varieert. De tweede component kent een veel kortere tijdschaal, omdat de meteorologische condities op de Noordzee een karakteristieke tijdschaal hebben van enkele dagen tot enkele weken. De resultaten van het windopzet-model van het KNMI werden gebruikt om de invloed van de wind op de reststroming te kwantificeren. Er is verder verondersteld, dat alleen het reststroomdebiet verandert onder invloed van de wind en dat het patroon van de reststroming voortdurend hetzelfde blijft.

De door de wind geïnduceerde stroomsnelheden, zoals die met behulp van het windopzet-model werden berekend voor 1980, zijn per week gemiddeld. Vervolgens werd daaruit de component van de stroomsnelheid evenwijdig aan de kust berekend. Omdat het windopzet-model de stroomsnelheid ten gevolge van de wind oplevert, moet een verband worden opgesteld tussen de stroomsnelheid langs de kust en het reststroomdebiet in het model voor de kuststrook. Dat werd gedaan op basis van het over het jaar gemiddelde reststroomdebiet ($76 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$) en de over het jaar gemiddelde door de wind geïnduceerde snelheid. De gemiddelde door de wind geïnduceerde snelheid heeft een waarde van 1,4 cm/s. Aangezien de gemiddelde totale reststroming in het model een snelheid heeft van 3,8 cm/s (op de raai van Appenzak), is verondersteld dat de bijdrage van het getij 2,4 cm/s is en de gemiddelde bijdrage van de wind 1,4 cm/s. Hiermee werd de volgende relatie opgesteld voor het reststroomdebiet:

$$\begin{aligned} Q_{\text{tot}} &= Q_{\text{getij}} + Q_{\text{wind}} \\ &= \frac{76 \cdot 10^3}{3,8} (u_{\text{getij}} + u_{\text{wind}}) \end{aligned} \quad (6)$$

Hierin zijn:

Q - het debiet (totaal of een van de componenten) langs de kust in m^3/s ;
 u_{wind} - de door de wind geïnduceerde snelheid langs de kust (in cm/s).
 u_{getij} - de door het getij geïnduceerde gemiddelde snelheid langs de kust (in cm/s).

Het reststroomdebiet dat op deze wijze werd geschat vertoont een zeer grillig verloop (zie figuur 27). De waarde van het reststroomdebiet is voor februari veel groter dan de gemiddelde waarde van $76 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ en voor april en mei zou de reststroming zuidwaarts zijn gericht. Voor de maanden oktober, november en december wisselt het reststroomdebiet bijna elke twee weken van richting. De per maand gemiddelde waarden van het reststroomdebiet door het Nauw van Calais die Prandle opgeeft [7] vertonen ruwweg hetzelfde verloop (de waarden uit tabel 1 zijn omgerekend voor de kuststrook). Doordat de middelingstijd vier maal zo lang is, gaat veel detail verloren. Volgens Prandle is het reststroomdebiet in mei heel laag, evenals volgens het windopzet-model. In de wintermaanden is de gemiddelde waarde juist hoog.

De variabiliteit van de reststroming heeft een aanzienlijk effect op het verloop van de berekende saliniteit (zie figuren 28 t/m 31). Volgens de berekening waarin het reststroomdebiet constant gehouden werd, treden voor Noordwijk twee verschillende perioden van lage saliniteit op, in februari en in juli. De metingen laten een korte periode met lage saliniteit zien in het begin van februari en een lange periode in juni, juli en augustus. Door de variabele reststroom verandert het berekende beeld aanzienlijk. De berekening laat een geringe daling zien voor het begin van februari en een langdurige periode van lage saliniteit eind februari. Daarbij treedt eerst een snelle daling op en daarna volgt een langzame stijging. Het reststroomdebiet dat voor die periode geldt is vrij klein (figuur 27), zodat zich zoet water kan verzamelen in de omgeving van de Haringvlietsluizen en de Nieuwe Waterweg.

In de periode van juni tot september is de saliniteit voor de raai van Noordwijk laag. Doordat volgens de schatting de reststroom in april en mei zuidwaarts is en er een aantal pieken in het debiet van de Haringvlietsluizen optreden, komt er in juni een hoeveelheid relatief zoet water aan bij Noordwijk. De piek in de afvoer van de Rijn in juli en augustus veroorzaakt vervolgens in

augustus een periode van lage saliniteit. Ten opzichte van de metingen zijn er enkele opvallende verschillen. Volgens de berekeningsresultaten treedt er aan het einde van februari een scherpe daling op in de saliniteit ten gevolge van de piek in de afvoer van de Rijn. Een dergelijke daling is niet terug te vinden in de metingen. Voor de raai van Ter Heijde wordt voor deze periode eveneens een lage saliniteit berekend (figuur 32). Er treedt in deze periode een piek op in de afvoer van de Rijn (figuur 24). Het debiet door de Haringvlietsluizen loopt op tot $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ en het debiet door de Nieuwe waterweg loopt op tot $3000 \text{ m}^3/\text{s}$. In de volgende twee weken neemt het debiet geleidelijk af. Ten opzichte van de metingen zijn de voor Ter Heijde berekende waarden zeer laag. Daardoor zijn in deze periode de voor Noordwijk berekende waarden ook te laag. In de periode april en mei doen zich volgens het model bij Ter Heijde ook heel lage waarden van de saliniteit voor, maar omdat het reststroomdebiet negatief is, wordt het Rijnwater zuidwaarts gevoerd. Bij Noordwijk zijn de modelresultaten verder redelijk in overeenstemming met de metingen.

De periode in de zomer waarin de saliniteit lage waarden bereikt, valt blijkens de metingen circa twee weken eerder dan volgens de berekeningen. Een mogelijke verklaring voor het verschil is, dat in het model alleen voor de Haringvlietsluizen en de Nieuwe Waterweg per week gemiddelde debieten zijn gespecificeerd en voor alle overige afvoeren per maand gemiddelde waarden. Deze twee vertegenwoordigen weliswaar de grootste afvoerdebieten, maar de variatie van de overige afvoeren (met name de afvoer van het IJsselmeer) kan lokaal een grote invloed hebben. Wanneer voor elke afvoer weekgegevens worden gebruikt, zal het genoemde verschil vermoedelijk geringer zijn.

Voor de raaien van Egmond en Callantsoog geldt ongeveer hetzelfde als voor de raai van Noordwijk (figuren 29 en 30). De berekende saliniteit is voor februari en maart te laag ten opzichte van de metingen. In de zomerperiode treedt volgens het model tweemaal een scherpe daling op, terwijl de metingen veeleer een aaneengesloten periode laten zien waarin de saliniteit laag is. De modelresultaten laten voor de raai van Terschelling minder variatie zien over het gehele jaar dan de metingen (figuur 31).

De modelresultaten zullen voor perioden met een hoge afvoer uit de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen vermoedelijk beter zijn, wanneer in het model de dispersiecoëfficiënt bij de raaien van Ter Heijde en Noordwijk wordt aangepast. Hoewel de fysische beschrijving van de transportprocessen in dat gebied

ontoereikend blijft, zal het model dan kwantitatief betere uitkomsten geven. De resultaten voor deze raaien vormen tot op zekere hoogte de randvoorwaarden voor het gebied dat door de Noordhollandse raaien wordt bestreken. Aangezien voor dit gebied de transportprocessen wel goed beschreven worden, zullen de resultaten over het geheel beter zijn.

Teneinde de gevoeligheid van de modelresultaten voor het preciese verloop van het reststroomdebiet vast te stellen, zijn ook enkele berekeningen gedaan waarbij het over het jaar gemiddelde debiet niet $76 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ bedroeg. Daartoe werden een kleinere respectievelijk een grotere waarde van het reststroomdebiet ten gevolge van het getij verondersteld. De resultaten van deze berekeningen toonden kwalitatief hetzelfde verloop van de saliniteit, alleen traden perioden van hoge of lage saliniteit op iets andere tijdstippen op met iets andere extreme waarden voor de saliniteit.

Berekeningen waarbij niet alleen de afvoerdebieten van de rivieren variëren maar ook het reststroomdebiet, geven over het geheel genomen resultaten die goed in overeenstemming zijn met het waargenomen verloop van saliniteit. Een belangrijk deel van de variatie in de saliniteit blijkt veroorzaakt te worden door de variatie in de reststroming.

8. Conclusies en aanbevelingen

8.1. Conclusies

In dit onderzoek is voor de Nederlandse kust een transportmodel ontwikkeld dat als uitgangspunt de meetgegevens van het routinematig waterkwaliteitsonderzoek heeft dat in de jaren 1976-1982 door Rijkswaterstaat werd uitgevoerd. De schematisering van het te modelleren gebied werd in eerste instantie gebaseerd op het meetnet dat bij dit onderzoek werd gebruikt, zodat het mogelijk was de modelresultaten vrijwel direct te vergelijken met de meetgegevens. Het model werd ingeregeld op basis van de over een jaar gemiddelde gegevens over de saliniteit. Voor de meetgegevens en de gegevens over de afvoer van stoffen werd het jaar 1980 gekozen.

Omdat studies naar de waterbeweging in de Noordzee t.a.v. de over het getij gemiddelde stroming onzekere resultaten geven, is voor dit onderzoek een ander uitgangspunt gekozen. Het transportmodel werd opgezet op grond van een vooronderstelling betreffende de over het jaar gemiddelde stroming. Uit de diverse studies komt naar voren dat de reststroming langs de Nederlandse kust noordwaarts is en dat ter hoogte van Texel de stroomlijnen dichter bij de kust lopen. Over de kwantitatieve aspecten van de reststroming bestaat echter onzekerheid. Daarom is in eerste instantie uitgegaan van de veronderstelling dat de reststroming evenwijdig is aan de kust.

Met de veronderstelling dat de stroomlijnen parallel lopen aan de kust, bleek de waargenomen verdeling van de saliniteit niet te kunnen worden verklaard. In het gebied ten noorden van Ter Heijde wordt reeds op geringe afstand van de kust een hoog zoutgehalte gemeten, terwijl het model een geleidelijk verloop van de saliniteit liet zien. De verschillen tussen de modelresultaten en de metingen waren met name groot bij de raaien van Egmond, Callantsoog en Terschelling. Wanneer andere waarden van de dispersiecoëfficiënt of het reststroomdebiet werden gebruikt, dan vertoonden de modelresultaten steeds ongeveer dezelfde verschillen ten opzichte van de metingen.

Door de schematisering aan te passen aan de hand van deze verschillen werd een patroon voor de reststroming verkregen dat kwalitatief overeenkomt met de resultaten van studies naar de waterbeweging. Volgens dit patroon beginnen de

stroomlijnen bij Noordwijk samen te trekken. Bij Texel lopen de stroomlijnen het dichtst op de kust.

Met het model wordt een goede benadering verkregen van de gemiddelde saliniteitsverdeling in het gebied voor de kust van Noord-Holland. Omdat er vanuitgegaan wordt dat het transport op lange termijn door middel van de over het getij gemiddelde stroming beschreven kan worden, is het model voor het overige deel van de kuststrook niet toereikend. Voor de Zuidnederlandse kust blijkt door de eigenschappen van de getijstroming het gemiddelde stoftransport zuidwaarts te zijn, terwijl de gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse noordwaarts is. Bij de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen spelen bovendien verticale gradiënten in de dichtheid van het zeewater een rol. Tot aan Callantsoog blijkt de dichtheid en dus de saliniteit over de waterdiepte te variëren. Dit betekent tevens dat de meetgegevens niet helemaal representatief zijn voor de over de diepte gemiddelde saliniteit, omdat de metingen steeds de bovenste laag water betreffen.

De resultaten van het model en de waarnemingen vertonen voor de raai van Rottumerplaat ook opmerkelijke verschillen. Voor het gebied nabij de kust worden door het model te hoge waarden voor de saliniteit berekend. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de uitwisseling tussen het estuarium van de Eems-Dollard en de Waddenzee met de Noordzee in het model wordt onderschat. Anderzijds is bij Rottumerplaat wellicht de invloed van de Duitse Bocht al merkbaar, zodat het werkelijke patroon van de reststroming anders is dan voor het model werd verondersteld.

Met modelberekeningen voor de over een jaar gemiddelde verspreiding van nutriënten werd beoogd inzicht te krijgen in de invloed van biologische en chemische processen op de verspreiding. Daartoe werd verondersteld, dat de stoffen conservatief zijn. Aangezien de modelresultaten voor de verschillende stoffen in een aantal opzichten sterk afwijken van de meetgegevens, mag geconcludeerd dat biologische en chemische processen en fysische processen als sedimentatie van organisch materiaal voor de over een jaar gemiddelde verspreiding waarschijnlijk wel van belang zijn. Over het algemeen zijn de gehalten die door het model worden berekend hoger dan de gemeten waarden. Alleen voor het nitraatgehalte en het totale gehalte aan stikstof zijn voor de segmenten direct aan de kust de berekende waarden lager dan de gemeten

waarden. In het gebied op tien tot dertig kilometer van de kust kan het verschil tussen de modelresultaten en de metingen 30% bedragen.

De resultaten die met het model werden bereikt met betrekking tot het verloop van de saliniteit gedurende het jaar laten zien, dat behalve de variatie in de rivierafvoer vooral de variatie in de reststroming ten gevolge van de wind het saliniteitsverloop bepaalt. De metingen laten zien, dat de saliniteit in de kuststrook binnen enkele weken sterk kan veranderen. Bij de berekeningen waarbij werd verondersteld dat de variaties in de saliniteit veroorzaakt worden door variaties in de zoetwaterdebieten, bleken modelresultaten en metingen grote verschillen vertonen. Ook wanneer per week gemiddelde afvoerdebieten worden gebruikt, is de tijdschaal waarop volgens deze berekeningen de saliniteit varieert te groot. Er treden volgens het model in 1980 twee perioden op waarin de saliniteit laag is. Deze perioden hangen samen met de pieken in de rivierafvoer in dat jaar. De metingen laten daarentegen geen duidelijke relatie zien tussen het verloop van de saliniteit en het verloop van de zoetwaterdebieten.

Door de uitkomsten van het windopzetmodel van het KNMI te gebruiken waarbij werd verondersteld dat de wind alleen het reststroomdebiet beïnvloedt en niet het stromingspatroon werden aanzienlijk betere resultaten bereikt. Door de variatie in het reststroomdebiet treden kortschalige variaties op in de saliniteit. Over het geheel is er weinig verband meer met de met de variatie in de rivierafvoer. Ondanks enkele opvallende verschillen is er een grotere mate van overeenkomst tussen de modelresultaten en de metingen.

8.2. Aanbevelingen

Voor verdere toepassingen verdient het aanbeveling dit model op twee punten aan te passen. Ten eerste treden er bij de raai van Ter Heijde grote verschillen op tussen de modelresultaten en de gemeten waarden. In de omgeving van de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen zijn transportprocessen van invloed die niet in het model zijn opgenomen. Er wordt verondersteld dat het gemiddelde transport bepaald wordt door de gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse en tevens dat de watermassa verticaal goed gemengd is. Door de dispersiecoëfficiënt bij de raaien van Goeree en Ter Heijde lokaal aan te passen, zullen de modelresultaten voor de saliniteit kwantitatief beter in overeenstemming zijn

met de meetgegevens. Vooral bij dynamische berekeningen is dit van belang. Bij pieken in de afvoer van de Rijn wordt door het model bij de monding van de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen een zeer laag zoutgehalte berekend en dat leidt tot te lage waarden ten noorden ervan. Bovendien kan de beschrijving van het resttransport voor het zuidelijke deel van het gebied verbeterd worden door een zuidwaarts gericht advectioneel transport op te leggen. In dat geval wordt het resttransport niet meer uitsluitend bepaald door de gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse en de dispersie.

Ten tweede zijn vooralsnog alleen voor de afvoerdebieten van de Nieuwe Waterweg en de Haringvlietsluizen per week gemiddelde waarden gebruikt en voor alle overige afvoeren per maand gemiddelde waarden. Wanneer ook voor de andere afvoeren weekcijfers worden gebruikt, dan worden voor de raaien van Egmond, Callantsoog en Terschelling mogelijk betere resultaten verkregen. Nu wordt alles overheerst door de variatie van de afvoer van de Rijn.

Als toepassingen van het model kunnen worden genoemd een onderzoek naar de seizoensvariatie in de verdeling van de diverse nutriënten, analoog aan het onderzoek naar het verloop van de saliniteit, en de koppeling met het fytoplanktonmodel SEAWAQ [23]. Het model kan verder van betekenis zijn voor een eerste gevoeligheidsanalyse van biologische en chemische processen in de kuststrook. De resultaten kunnen gebruikt worden voor de inregeling van grotere en complexere modellen zoals die op basis van het model ZUNOWAK [13].

Literatuur

1. Alphen J. van
Outflow and three dimensional spreading of river Rhine water in the
Netherlands coastal zone,
Symposium on Physical Processes in Estuaries,
Noordwijkerhout, september 1986
2. Dam G.C. van
Reststromen en resttransport in modelberekeningen
Rijkswaterstaat, nota FA 8402, 1984
3. Deutsches Hydrographisches Institut
Schadstoffausbreitung und Schadstoffbelastung in der Nordsee,
Hamburg, 1985
4. Mittelstaedt E., W. Lange, C. Brockmann en K.C. Soetje
Die Stroemungen in der Deutschen Bucht,
Deutsches Hydrographisches Institut, no. 2347, Hamburg, 1983
5. Pagee J.A. van, H. Gerritsen en W.P.M. de Ruijter
Transport and water quality modelling in the southern North Sea in
relation to coastal pollution research and control,
Delft Hydraulics Communication No. 361, juli 1986
6. Prandle D.
Monthly-mean residual flows through the Dover Strait, 1949-1972,
Journal of Marine Biological Association United Kingdom, 58 (1978) 4,
pp 965-973
7. Prandle D.
Monthly-mean residual flows through the Dover Strait, 1949-1980,
Journal of Marine Biological Association United Kingdom, 64 (1984) 3,
pp 722-724

8. Prandle D.
Residual flows and elevations in the southern North Sea,
Proceedings of Royal Society of London, A 359, (1978), pp 189-228
9. Prandle D.
A modelling study of the mixing of Cs-137 in the seas of the European
Continental Shelf,
Philosophical Transactions of Royal Society of London, A 310, (1984),
pp 407-436
10. Rijkswaterstaat
Monitoring Waterkwaliteit Noordzee,
oktober 1980
11. Rijkswaterstaat
Kwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren,
verslagen voor het jaar 1980
12. Rijkswaterstaat
Projektplan Stoftransporten langs de Nederlandse kust, notitie
DDWT-84.201, 1984
13. Rijkswaterstaat
Overzicht van de bij de Deltadienst en District Kust en Zee in gebruik
zijnde WAQUA-modellen
nota WWKZ 85.G005, 1985
14. Rijkswaterstaat
De driedimensionale verspreiding van Rijnwater voor de kust van Holland;
een eerste analyse van saliniteitsmetingen uitgevoerd in 1985,
nota NZ-N-86.21, januari 1986
15. Rijkswaterstaat en Waterloopkundig Laboratorium
Waterkwaliteitsplan Noordzee, Ecologie van de Noordzee,
achtergronddocument 2B, maart 1985

16. Rijkswaterstaat en Waterloopkundig Laboratorium
Waterkwaliteitsmodellering in relatie tot WAQUA-gebruik,
syllabus bij de cursus, september 1985
17. Timmerman H.
Meteorological effects on tidal heights in the North Sea,
Mededelingen en verhandelingen no. 99, KNMI, Den Haag, 1975
18. Waterloopkundig Laboratorium
Herkomst en transport van contaminanten op de Noordzee, relatie tot de
dumping van baggerspecie
literatuurstudie S 598 /S 599, november 1984
19. Waterloopkundig Laboratorium
WAQUA/DELWAQ-berekeningen Eems-Dollard estuarium,
verslag speurwerk S 296.02, november 1984
20. Waterloopkundig Laboratorium
Oriënterend onderzoek naar de modellering van waterkwaliteit in
estuariene gebieden met behulp van 2DH-modellen,
speurwerkverslag S 577, juli 1985
21. Waterloopkundig Laboratorium
Waterkwaliteitsmodellering Zuidnederlandse Noordzeekust, deel 2 concept
verslag R 2176, februari 1986
22. Waterloopkundig Laboratorium
Handleiding voor het waterkwaliteitsmodel DELWAQ rapport - nog te ver-
schijnen
23. Waterloopkundig Laboratorium
The phytoplankton-nutrient model SEAWAQ and its applications to the
Southern Bight of the North Sea
rapport R 1908, december 1985
24. Waterloopkundig Laboratorium
Fine grid Continental Shelf Model,
rapport R 2175, nog te verschijnen

Appendix: Details van het rekenmodel

Het rekenmodel bestaat uit 81 segmenten waartussen advectioneel en dispersief transport kan optreden. Daarnaast vinden in een aantal segmenten massalozingen plaats. Verder zijn er voor de segmenten aan de rand randvoorwaarden nodig. Dit wordt allemaal opgegeven in de invoer voor het computerprogramma DELWAQ. Vanwege de opzet van dit programma speelt de nummering van de rekensegmenten een belangrijke rol (zie figuur 34). Hieronder volgt de invoer voor de stationaire berekening met vier conservatieve stoffen.

ad 1.

De eerste regel bevat het aantal segmenten (81) en het aantal stoffen (4) waaruit het model bestaat. De eerste drie getallen dienen om de versie van het model aan te duiden (in te vullen naar behoefte). De laatste twee getallen dienen voor de identificatie van in- en uitvoer. De tweede regel is altijd een regel tekst, bedoeld ter verduidelijking van het model.

ad 2.

De uitvoer van de berekening. Ten eerste om de hoeveel tijdstappen uitvoer (doet niet ter zake bij de stationaire berekening). Ten tweede voor hoeveel segmenten de waarden van de diverse grootheden leesbaar uitvoeren. In de daarop volgende regels worden de nummers van de betreffende segmenten gespecificeerd. Alle waarden van de diverse grootheden voor alle segmenten voor dezelfde tijdstap worden ongeformatteerd weggeschreven.

ad 3.

Het eerste getal geeft aan of in het invoerbestand alles is gespecificeerd (getal niet gelijk aan nul; 'stand-alone'-versie). Anders staan alleen de belangrijkste gegevens erin, zoals bij de koppeling met waterbewegingsmodellen het geval is. In het eerste geval geeft het tweede getal het totaal aantal uitwisselingen aan.

ad 4.

Specificatie van de volumes van de segmenten (alleen bij stand-alone-versie): aantal segmenten, schaalfactor voor de volumes, voor alle segmenten achtereenvolgens de waarden van de volumes (in m^3).

ad 5.

Specificatie van de uitwisselingen: eerste regel betreft de schaalfactoren voor de debieten door en dispersiecoëfficiënt op de grensvlakken. Dan volgen voor elk oppervlak waarvoor stoftransport plaatsvindt: de nummers van de segmenten aan weerszijden (het 'van'- en het 'naar'-segment), het debiet door het oppervlak (positief als het van het 'van'-segment naar het 'naar'-segment gaat), de dispersiecoëfficiënt voor het oppervlak. Verder de oppervlakte (in m^2) en de afstand van het representatieve punt in beide segmenten tot het oppervlak.

ad 6.

De vaste en variabele randvoorwaarden voor een aantal segmenten: voor 33 segmenten vaste randwaarden en voor 0 segmenten variabele. De nummers van de 33 segmenten en de waarden van de tijdvertraging (in verband met randvoorwaarden volgens de methode Thatcher-Harleman [19]). Vervolgens de schaalfactoren voor de waarden elke grootte (in g/m^3) en voor de opeenvolgende in het model opgenomen grootheden de waarden in de segmenten aan de rand.

ad 7.

Ongeveer zo'n zelfde procedure voor de lozingen: het aantal segmenten waarin een constante massalozing plaatsvindt (14 in dit geval), het aantal waarin een variërende massalozing plaatsvindt (in deze versie geen). Vervolgens de volgnummers van de betreffende segmenten en een schaalfactor voor de hoeveelheid massa voor de verschillende stoffen (in g/dag (!)). Voor elk genoemd segment de massalozingen.

ad 8.

Specificatie van een aantal (aanpasbare) parameters. Betekenis en aantal hangt af van de processen die in het model zijn ingebouwd. In dit model is daar geen gebruik van gemaakt.

ad 9.

Opties betreffende: de beginschatting (optie = 2, voor de beginschatting wordt volstaan met een waarde voor ieder segment) en de integratiemethode en informatie over integratie in de tijd (begin, eind en stapgrootte). Methode 8 houdt in dat de stationaire oplossing in een stap wordt berekend.

12	20	2207.000	1.000	45000.	7500.	12500.
13	21	1631.000	1.200	37500.	7500.	12500.
0	16	-60.000	1.000	750000.	10000.	10000.
16	17	-60.000	1.000	587500.	10000.	10000.
17	18	-60.000	1.000	500000.	10000.	10000.
18	19	-60.000	1.000	337500.	10000.	5000.
19	20	-60.000	1.000	250000.	5000.	2500.
20	21	-60.000	1.000	200000.	2500.	2500.
21	22	-60.000	0.240	175000.	2500.	14000.
16	23	24566.000	1.000	520000.	12500.	15000.
17	24	21111.000	1.000	420000.	12500.	15000.
18	25	19191.000	1.000	320000.	12500.	15000.
19	26	7293.000	1.000	110000.	12500.	15000.
20	27	2207.000	1.000	45000.	12500.	15000.
21	28	1631.000	1.200	37500.	12500.	15000.
0	23	-886.000	1.000	945000.	10000.	10000.
23	24	-886.000	1.000	804375.	10000.	10000.
24	25	-886.000	1.000	618750.	10000.	10000.
25	26	-886.000	1.000	416250.	10000.	5000.
26	27	-886.000	1.000	337500.	5000.	2375.
27	28	-886.000	1.000	270000.	2375.	2000.
28	0	0.000	0.000	255000.	2000.	2000.
23	29	24566.000	1.000	660000.	15000.	7656.
24	30	21111.000	1.000	522500.	15000.	8906.
25	31	19191.000	1.000	365000.	15000.	10125.
26	32	7293.000	1.000	152500.	15000.	10812.
27	33	2207.000	1.000	46125.	15000.	11000.
28	34	1631.000	0.600	30000.	15000.	11000.
0	29	-1557.000	1.000	416812.	10000.	10000.
29	30	-1557.000	1.000	418586.	10000.	10000.
30	31	-1557.000	1.000	377781.	10000.	8750.
31	32	-1557.000	1.000	347969.	8750.	5000.
32	33	-1557.000	1.000	247500.	5000.	1750.
33	34	-1557.000	1.000	209000.	1750.	1375.
34	0	0.000	0.000	198000.	1375.	1375.
29	35	24566.000	1.000	440000.	7656.	11625.
30	36	21111.000	1.000	340000.	8906.	14375.
31	37	19191.000	1.000	281250.	10125.	16625.
32	38	7293.000	1.000	150000.	10812.	18250.
33	39	2207.000	1.000	23750.	11000.	19000.
34	40	1631.000	0.800	21250.	11000.	19000.
0	35	-13.000	1.000	489438.	10000.	10000.
35	36	-13.000	1.000	520000.	10000.	10000.
36	37	-13.000	1.000	539437.	10000.	6250.
37	38	-13.000	1.000	551250.	6250.	5000.
38	39	-13.000	1.000	380000.	5000.	1250.
39	40	-13.000	1.000	342000.	1250.	1250.
40	0	0.000	0.000	304000.	1250.	1250.
35	41	24566.000	1.000	430000.	11625.	12812.
36	42	21111.000	1.000	375000.	14375.	14562.
37	43	19191.000	1.000	150000.	16625.	16000.
38	44	7293.000	1.000	140000.	18250.	17000.
39	45	2207.000	1.000	23750.	19000.	17625.
40	46	1631.000	0.800	21250.	19000.	17875.
0	41	-117.000	1.000	540000.	10000.	10000.

41	42	-117.000	1.000	572250.	10000.	8750.
42	43	-117.000	1.000	561875.	8750.	4375.
43	44	-117.000	1.000	495000.	4375.	4375.
44	45	-117.000	1.000	350000.	4375.	1250.
45	46	-117.000	1.000	301750.	1250.	1250.
46	0	0.000	0.000	252000.	1250.	1250.
41	47	24566.000	1.000	445000.	12812.	24000.
42	48	21111.000	1.000	311250.	14562.	22250.
43	49	19191.000	1.000	133125.	16000.	21125.
44	50	7293.000	1.000	97500.	17000.	20375.
45	51	2207.000	1.000	22500.	17625.	20000.
46	52	1631.000	1.000	17500.	17875.	20000.
0	47	-323.000	1.000	1193750.	9375.	9375.
47	48	-323.000	1.000	1009125.	9375.	5625.
48	49	-323.000	1.000	881500.	5625.	3125.
49	50	-323.000	1.000	736625.	3125.	3125.
50	51	-323.000	1.000	400000.	3125.	1250.
51	52	-323.000	1.000	360000.	1250.	1250.
52	65	-323.000	0.254	320000.	1250.	25500.
47	53	24566.000	1.000	414531.	24000.	19313.
48	54	21111.000	1.000	163125.	22250.	16313.
49	55	19191.000	1.000	102500.	21125.	15000.
50	56	7293.000	1.000	75000.	20375.	13750.
51	57	2207.000	1.000	25000.	20000.	13000.
52	58	1631.000	1.000	25000.	20000.	13000.
0	53	-54.000	1.000	1032000.	8750.	8750.
53	54	-54.000	1.000	762063.	8750.	3750.
54	55	-54.000	1.000	612250.	3750.	2500.
55	56	-54.000	1.000	507500.	2500.	2500.
56	57	-54.000	1.000	260000.	2500.	1250.
57	58	-54.000	1.000	247000.	1250.	1250.
58	65	-54.000	0.092	234000.	1250.	14000.
53	59	24566.000	1.000	394844.	19313.	23031.
54	60	21111.000	1.000	158438.	16313.	20281.
55	61	19191.000	1.000	83750.	15000.	19000.
56	62	7293.000	1.000	62500.	13750.	18000.
57	63	2207.000	1.000	23750.	13000.	17500.
58	64	1631.000	1.200	21250.	13000.	17500.
0	59	-108.000	1.000	1475000.	11875.	11875.
59	60	-108.000	1.000	929383.	11875.	4375.
60	61	-108.000	1.000	750750.	4375.	3125.
61	62	-108.000	1.000	578125.	3125.	2500.
62	63	-108.000	1.000	393750.	2500.	1750.
63	64	-108.000	1.000	332500.	1750.	1375.
64	65	-108.000	0.219	315000.	1375.	14000.
59	66	24566.000	1.000	810000.	23031.	27250.
60	67	21111.000	1.000	210000.	20281.	26250.
61	68	19191.000	1.000	135938.	19000.	25813.
62	69	7293.000	1.000	75000.	18000.	25438.
63	70	2207.000	1.000	46125.	17500.	25125.
64	71	1631.000	1.000	30000.	17500.	25000.
0	66	-47.000	1.000	2016000.	12500.	12500.
66	67	-47.000	1.000	1378000.	12500.	7500.
67	68	-47.000	1.000	1144000.	7500.	6875.
68	69	-47.000	1.000	928906.	6875.	3750.

69	70	-47.000	1.000	694375.	3750.	2375.
70	71	-47.000	1.000	500000.	2375.	2000.
71	72	-47.000	0.197	450000.	2000.	8000.
66	73	24566.000	1.000	660000.	27250.	28250.
67	74	21111.000	1.000	540000.	26250.	29000.
68	75	19191.000	1.000	440000.	25813.	29750.
69	76	7293.000	1.000	175000.	25438.	30250.
70	77	2207.000	1.000	62500.	25125.	30500.
71	78	1631.000	1.600	45000.	25000.	30500.
0	73	-100.000	1.000	2016000.	10000.	10000.
73	74	-100.000	1.000	1710000.	10000.	10000.
74	75	-100.000	1.000	1475000.	10000.	10000.
75	76	-100.000	1.000	1050000.	10000.	5000.
76	77	-100.000	1.000	915000.	5000.	2500.
77	78	-100.000	1.000	610000.	2500.	2500.
78	79	-100.000	0.183	549000.	2500.	11500.
73	0	24566.000	1.000	660000.	28250.	28250.
74	0	21111.000	1.000	560000.	29000.	29000.
75	0	19191.000	1.000	410000.	29750.	29750.
76	0	7293.000	1.000	150000.	30250.	30250.
77	0	2207.000	1.000	62500.	30500.	30500.
78	0	1631.000	1.000	50000.	30500.	30500.
0	7	0.000	1.000	10000.	55000.	8500.
7	14	-162.000	1.000	50000.	7500.	12500.
14	15	-162.000	1.000	25000.	12500.	12500.
0	15	0.000	0.000	25000.	12500.	12500.
0	22	0.000	0.000	30000.	12500.	12500.
0	65	0.000	0.000	6000.	13500.	13500.
65	72	0.000	1.000	27000.	25000.	35000.
72	78	0.000	1.000	23900.	35000.	2500.
72	79	0.000	1.000	48000.	35000.	12500.
0	72	0.000	0.000	15000.	12500.	12500.
0	79	0.000	0.000	50000.	30500.	30500.
79	80	-100.000	1.000	77000.	10000.	9000.
80	81	-100.000	1.000	8000.	9000.	7500.
0	81	0.000	0.000	6000.	7500.	7500.

6)

33	0														
1	2	3	4	5	6	7	8	16	23	29	35	41	47	53	59
66	73	74	75	76	77	78	15	22	28	34	40	46	65	72	79
81															

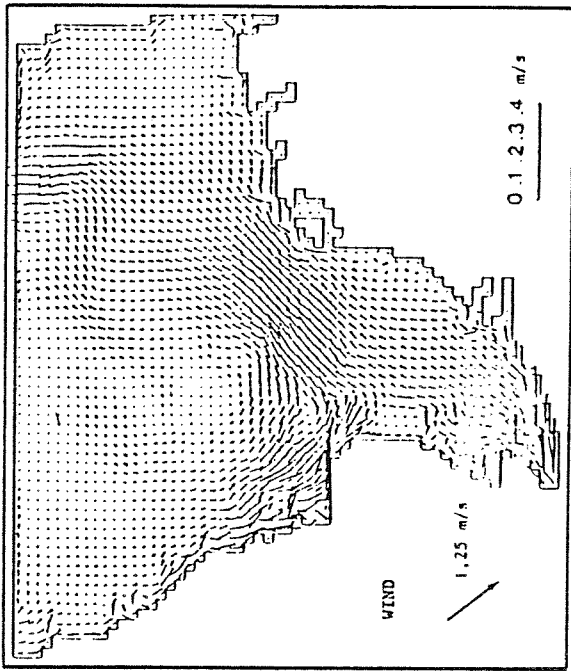
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

1.	1.	1.	1.	
34.80	100.00	0.10	0.020	1
34.60	100.00	0.17	0.030	2
34.10	100.00	0.30	0.045	3
32.80	100.00	0.50	0.085	4
32.22	100.00	0.50	0.100	5
31.80	100.00	0.70	0.140	6
30.80	100.00	0.80	0.120	7



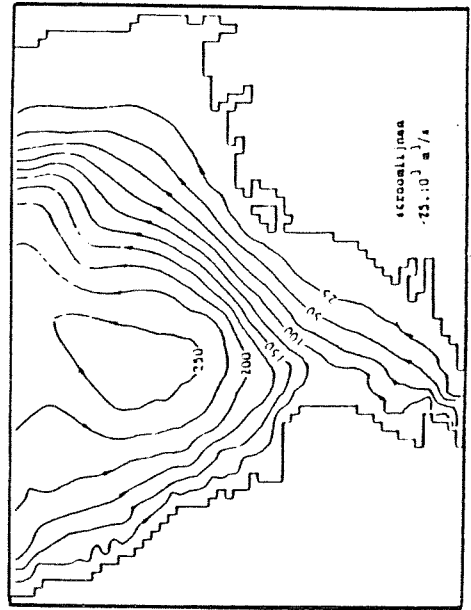
Schematisering van het kuststrookmodel en de ligging van de stations van het meetnet WAKWON

B)



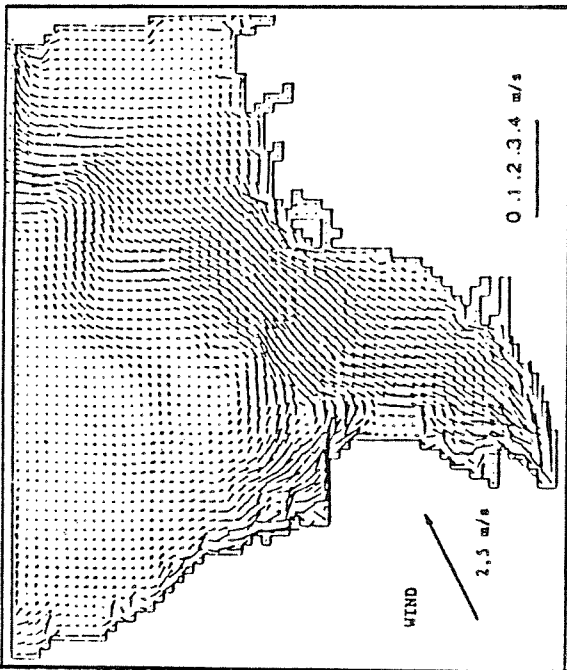
ZOMER

D)



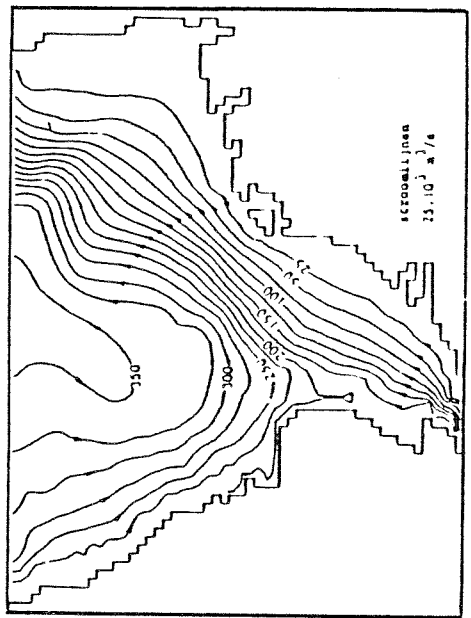
ZOMER

A)



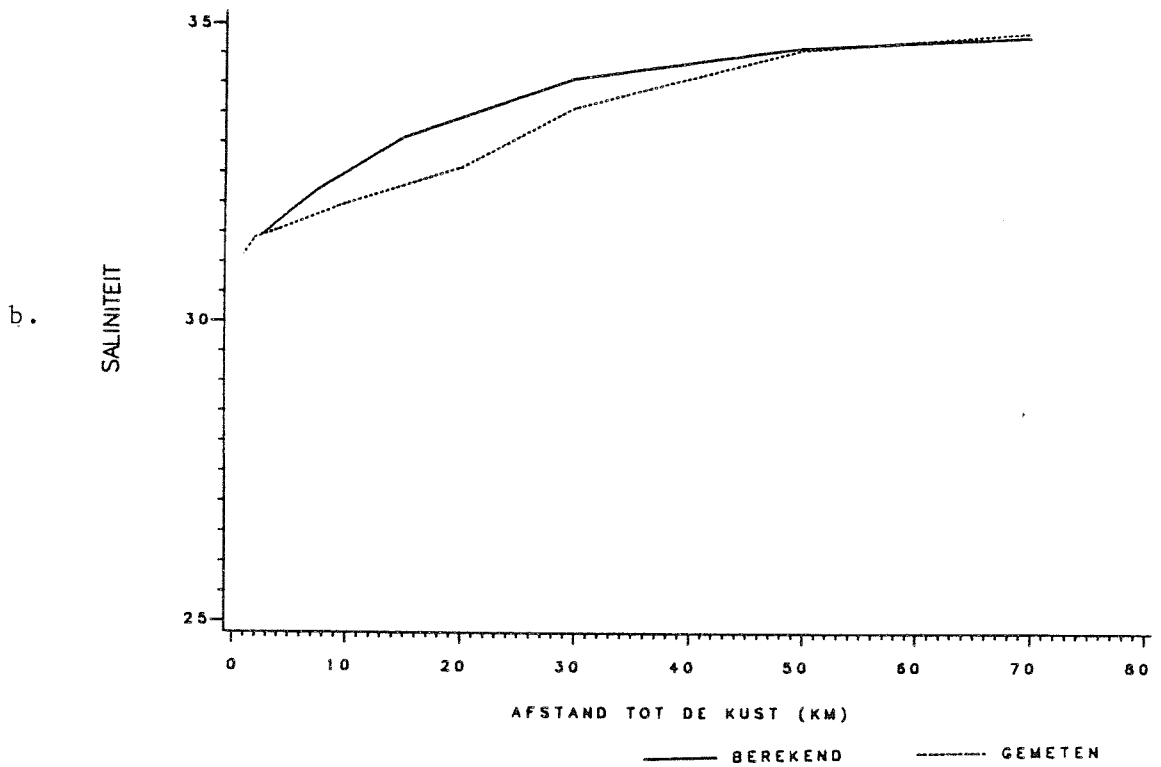
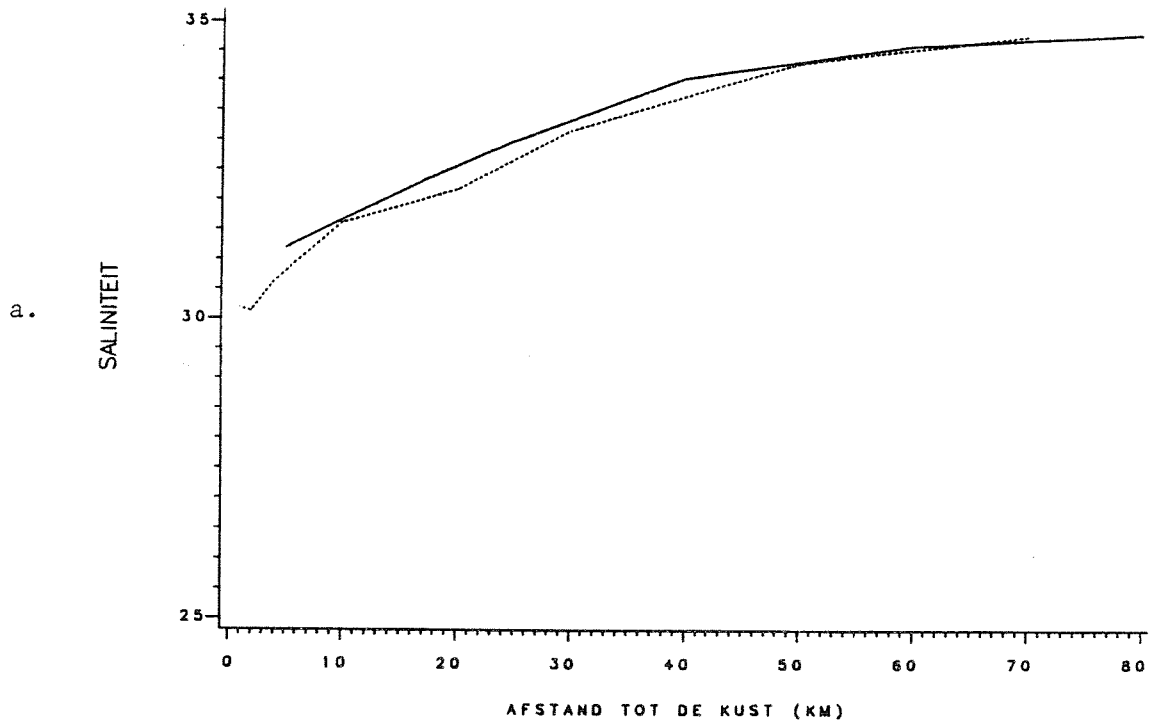
WINTER

C)

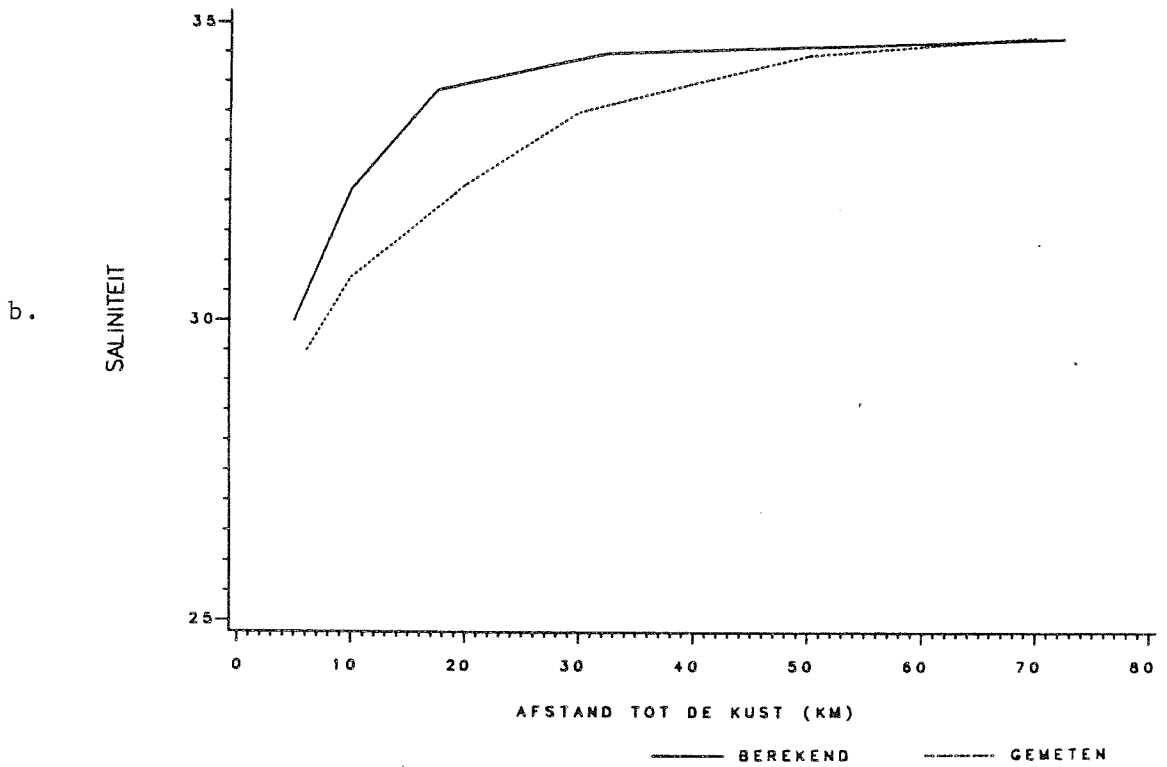
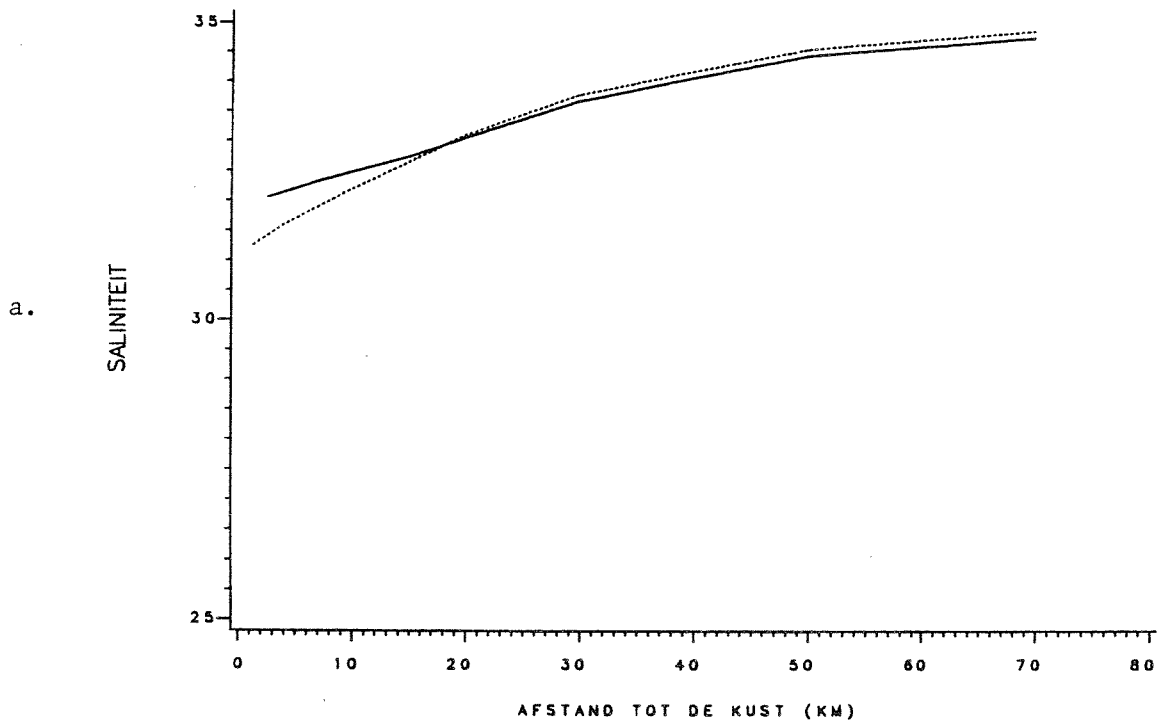


WINTER

Reststroming in de Noordzee, zoals bepaald met het model ESTFLO



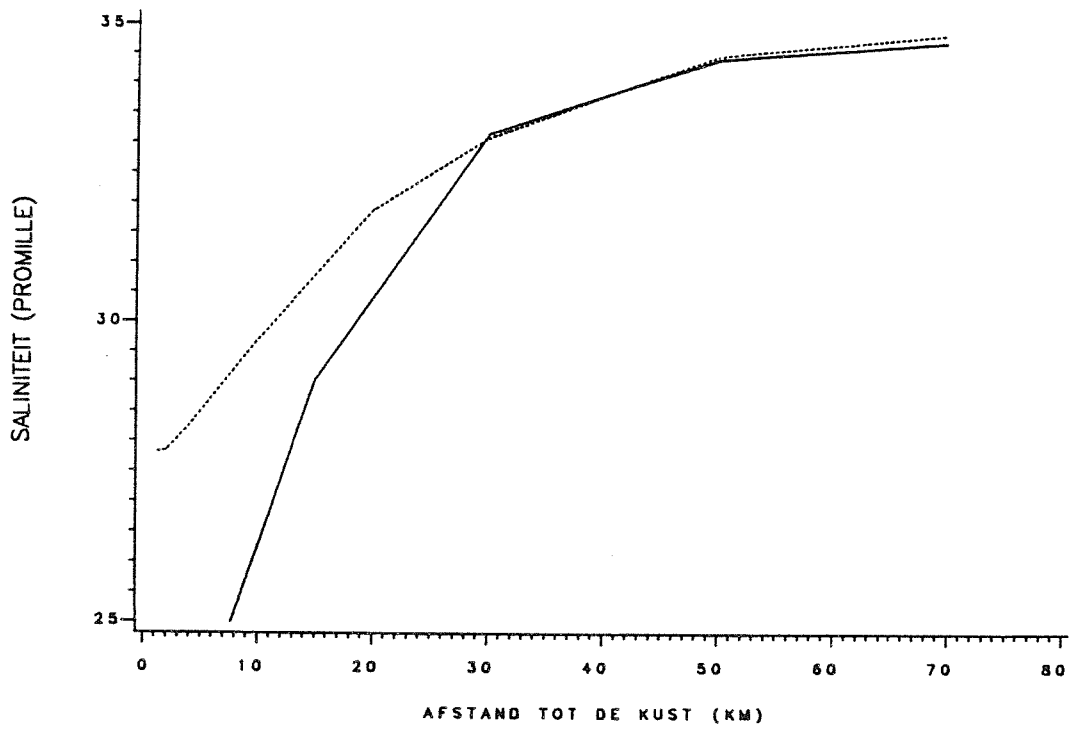
Resultaten met reststroming parallel aan de kust.
 Berekende en gemeten saliniteit voor de raai van
 a. Appelzak b. Walcheren



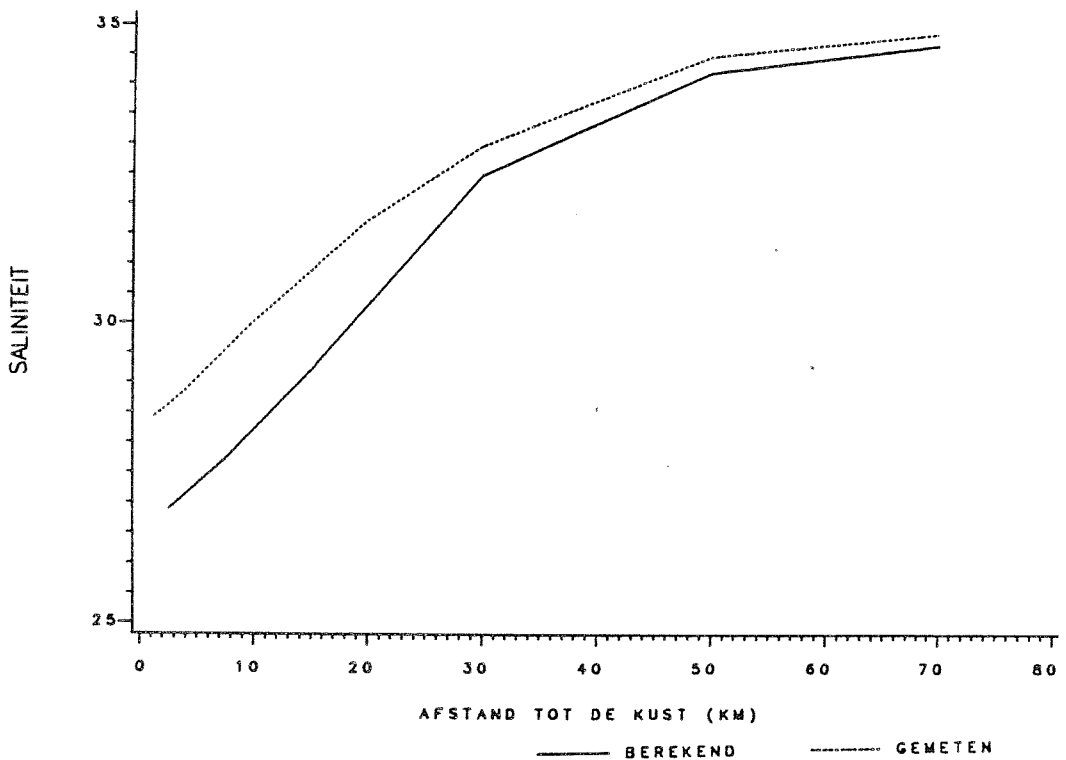
Resultaten met reststroming parallel aan de kust.
 Berekende en gemeten saliniteit voor de raai van
 a. Schouwen b. Goeree

A4

a.



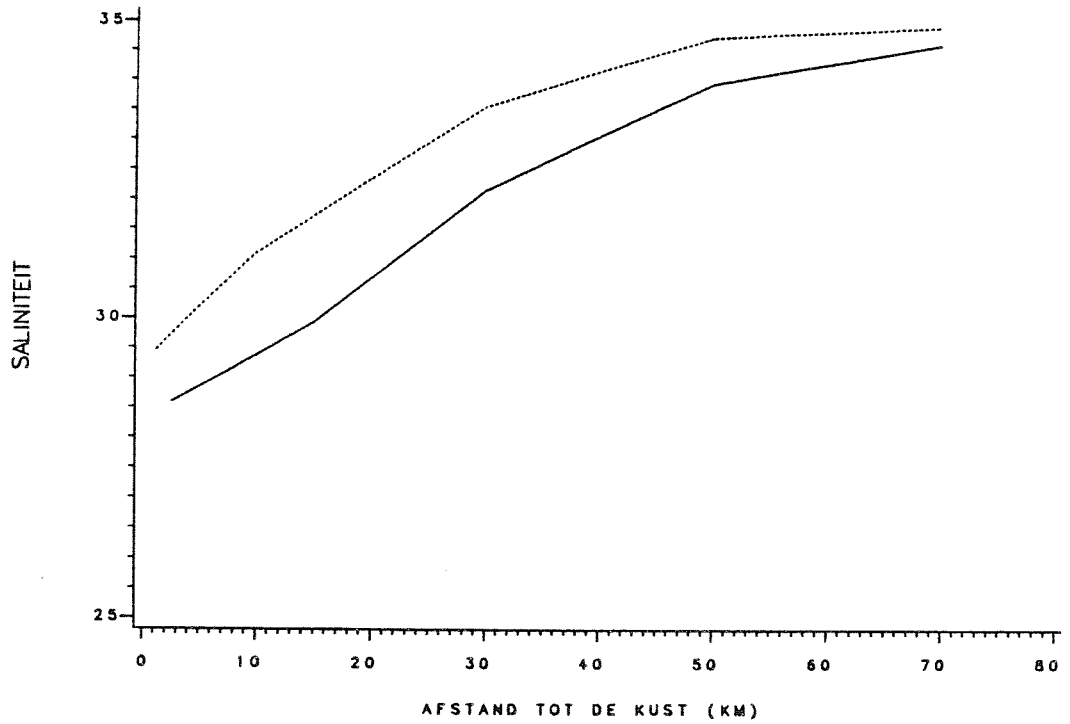
b.



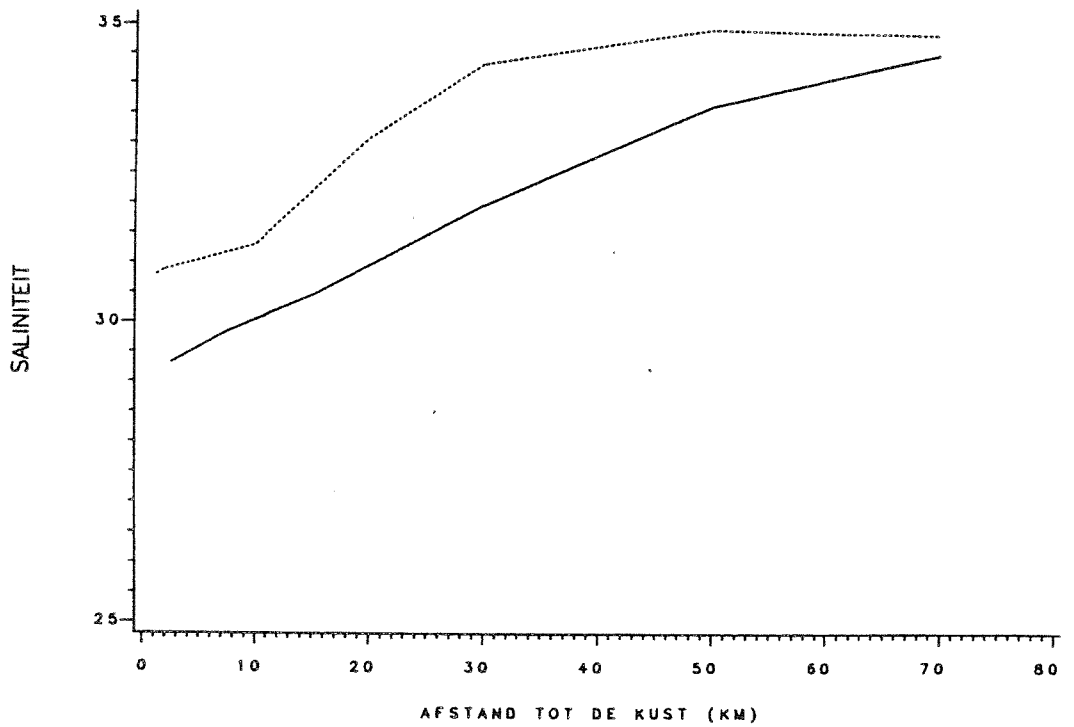
Resultaten met reststroming parallel aan de kust.
 Berekende en gemeten saliniteit voor de raai van
 a. Ter Heijde b. Noordwijk

A4

a.



b.

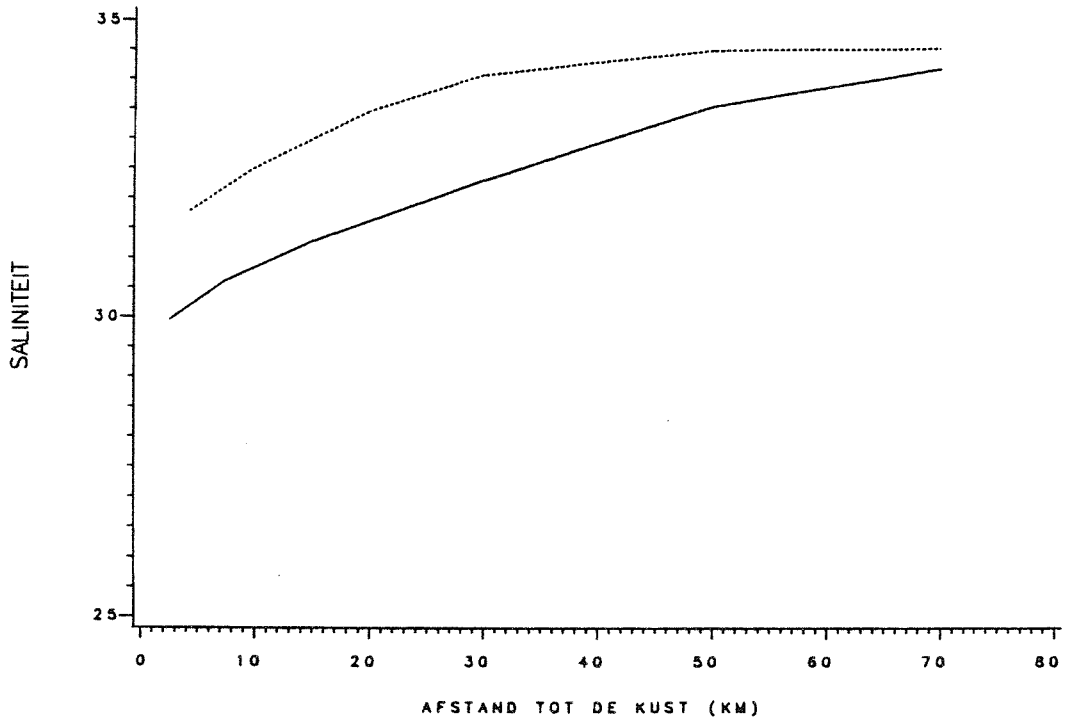


— BEREKEND - - - GEMETEN

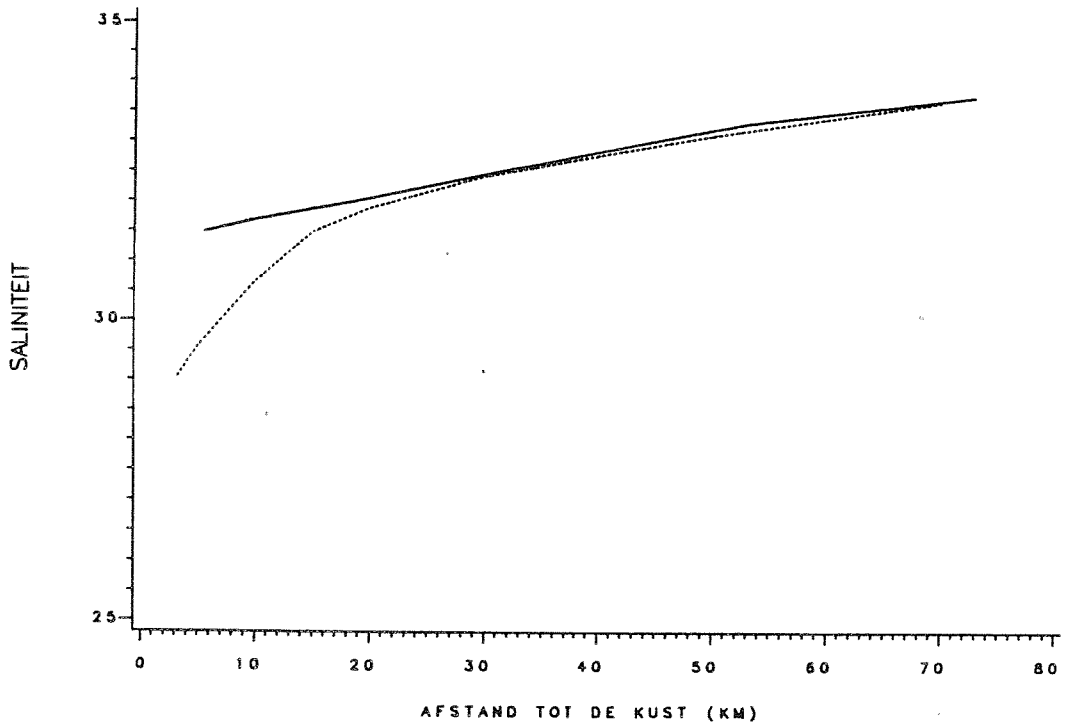
Resultaten met reststroming parallel aan de kust.
 Berekende en gemeten saliniteit voor de raai van
 a. Egmond b. Callantsoog

A4

a.



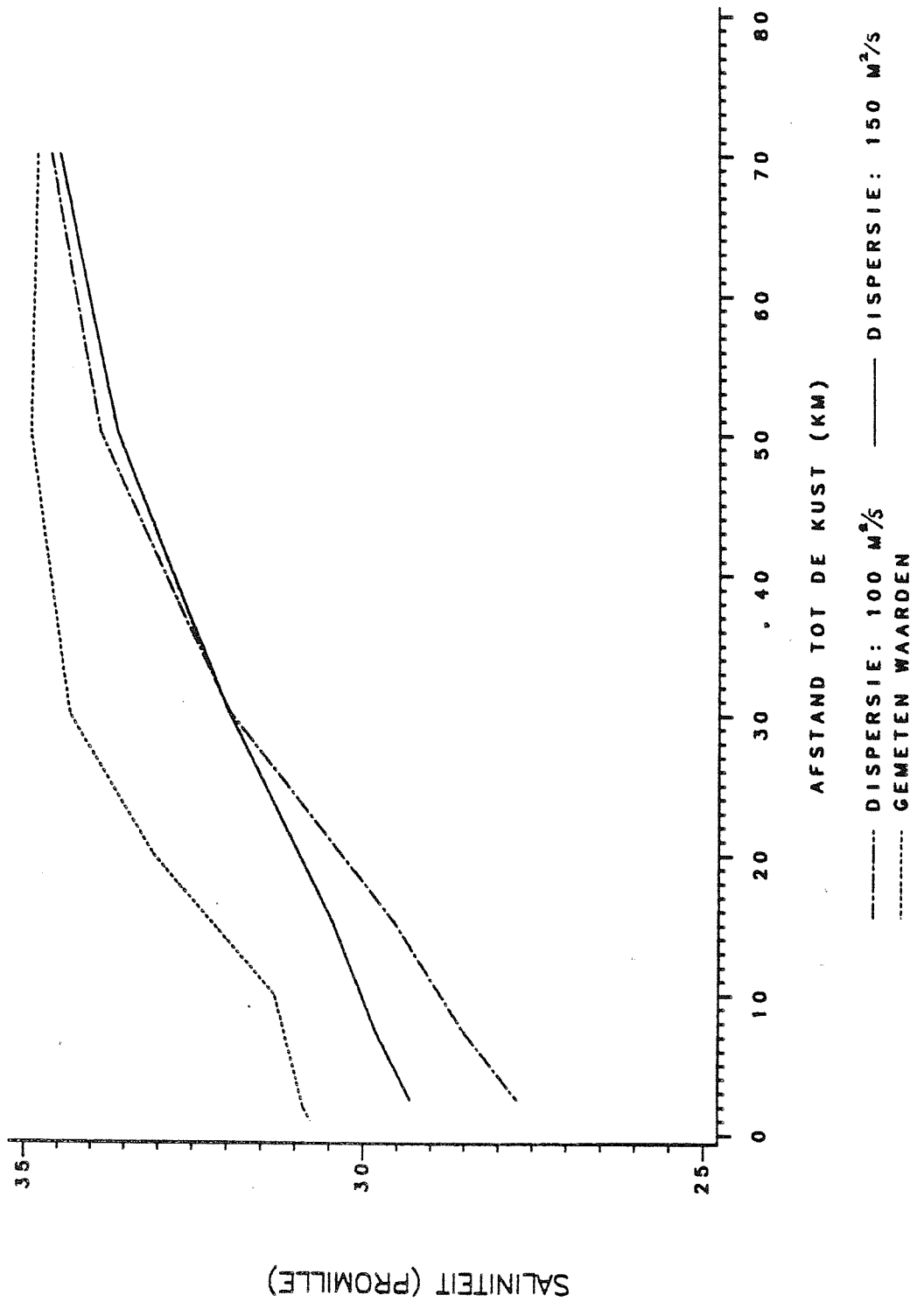
b.



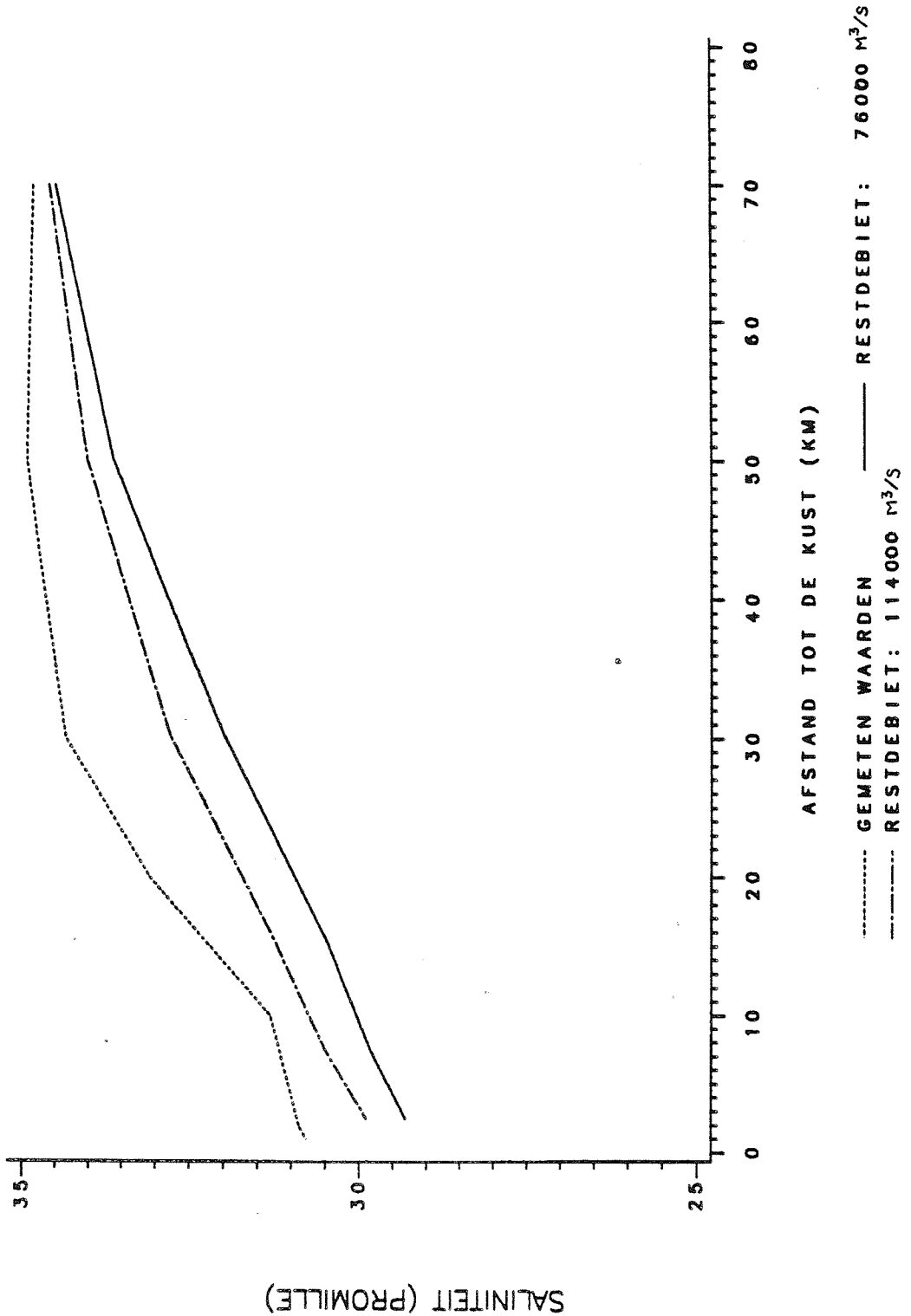
— BEREKEND ····· GEMETEN

Resultaten met reststroming parallel aan de kust.
Berekende en gemeten saliniteit voor de raai van
a. Terschelling b. Rottumerplaat

A4



Verloop saliniteit bij de raai van Callantsoog.
 Berekeningen met verschillende waarden van de disper-
 siecoëfficiënt.

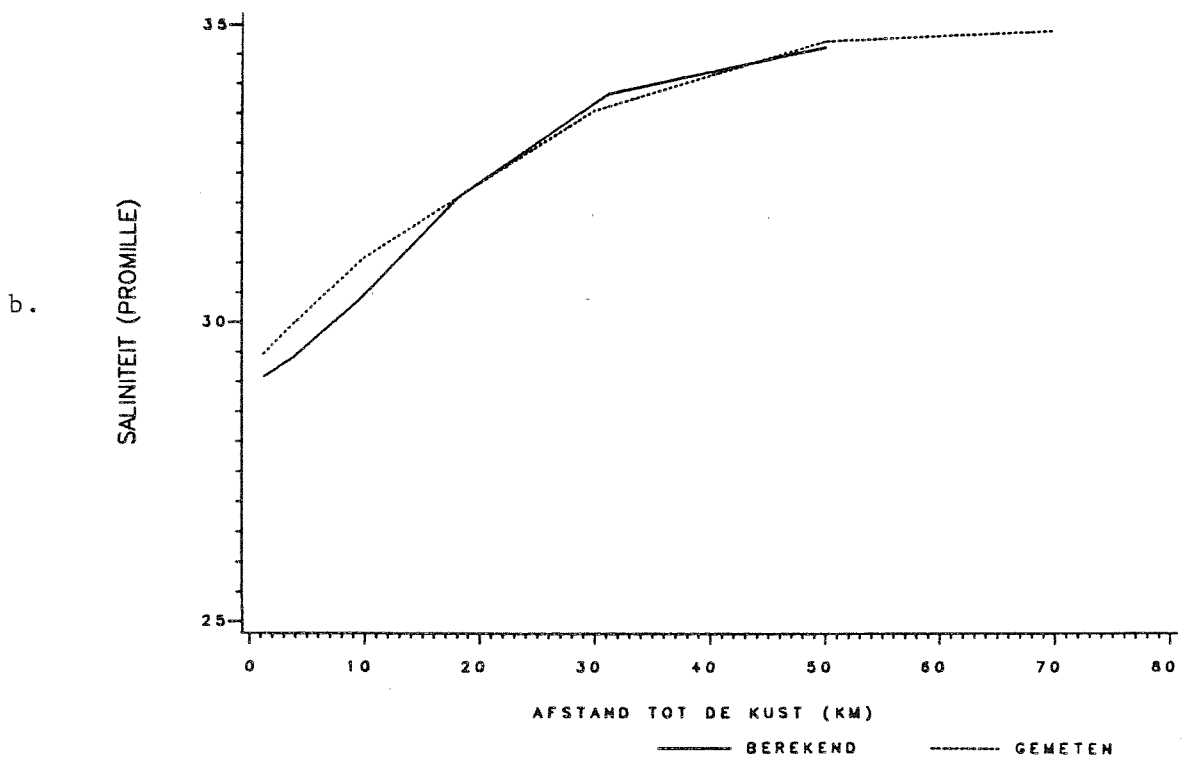
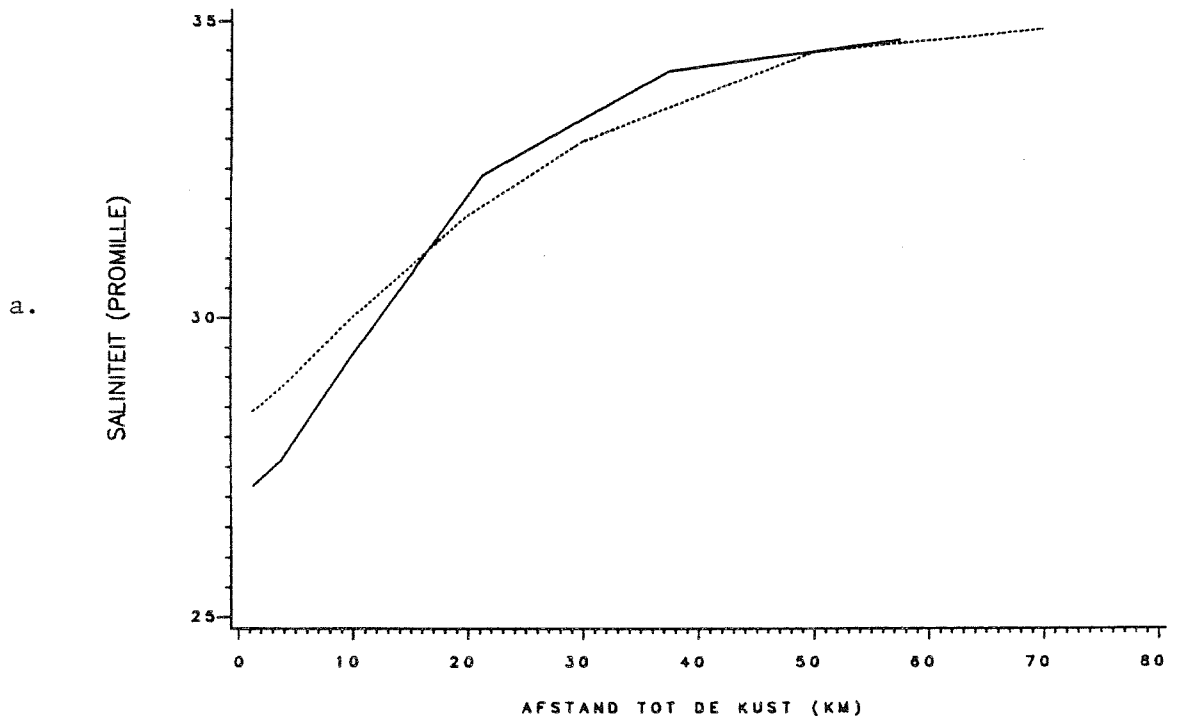


Verloop saliniteit bij de raai van Callantsoog.
 Berekeningen met verschillende waarden van het
 reststroomdebiet.

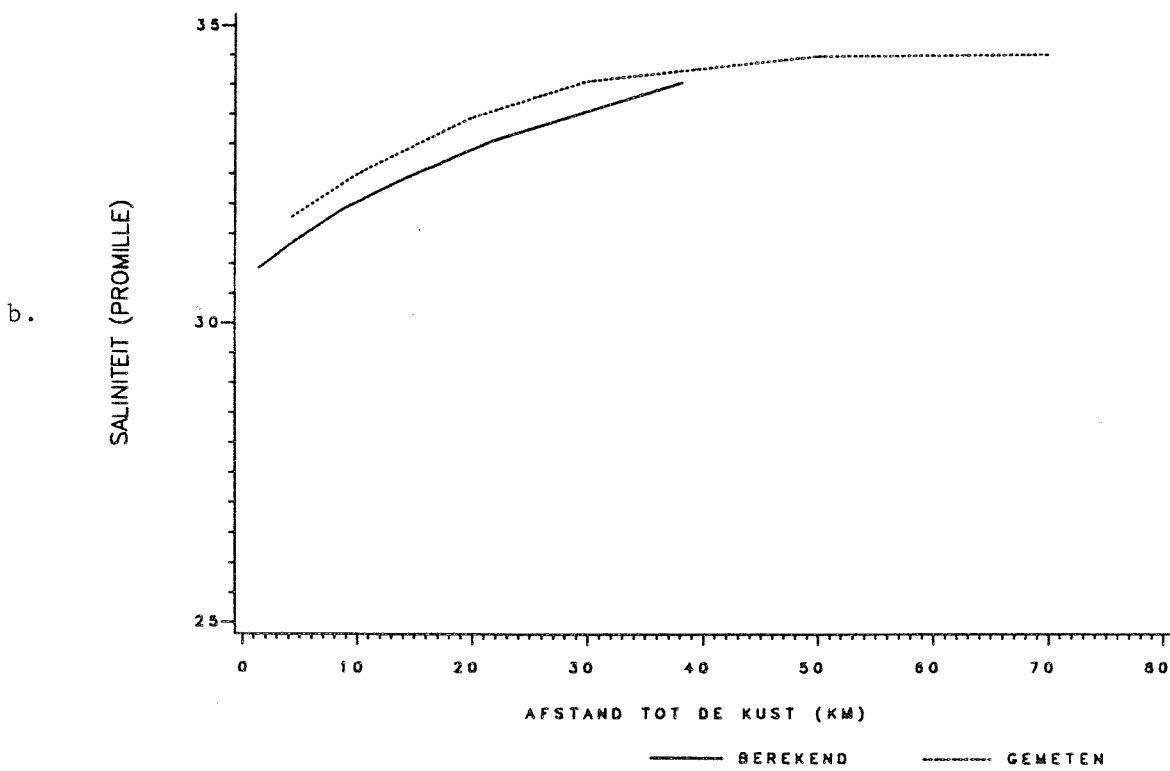
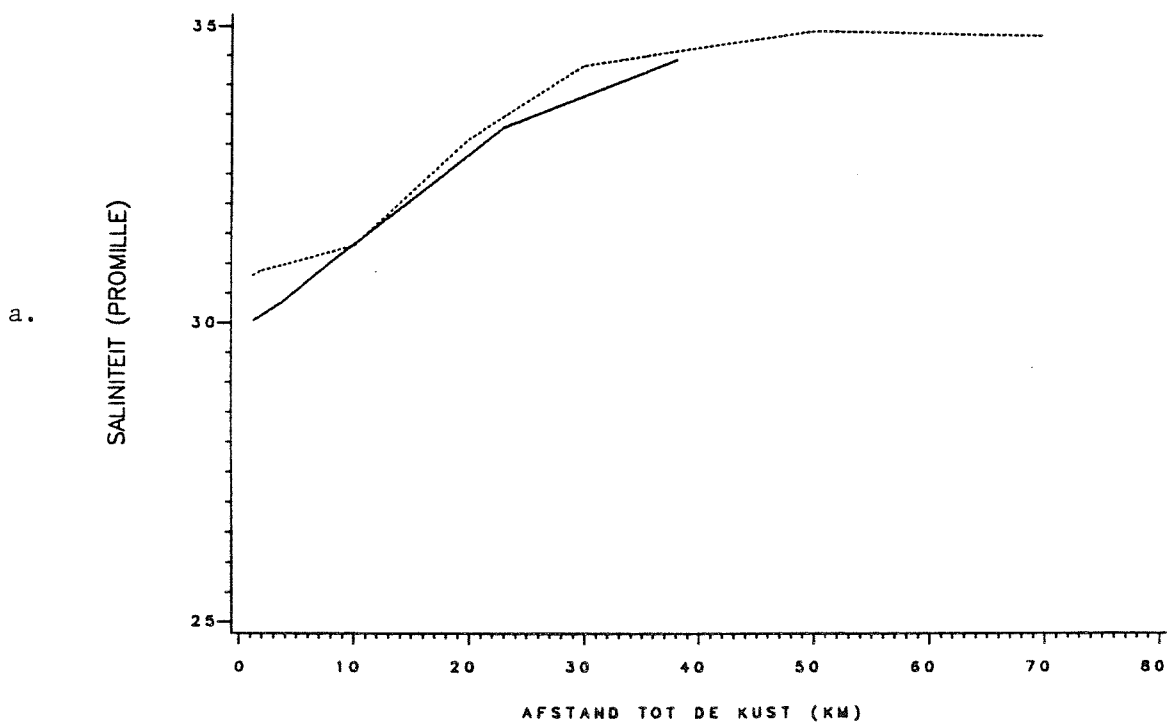


- BETEKENIS AFKORTINGEN
- AP APPELZAK
 - WA WALCHEREN
 - SC SCHOUWEN
 - GO GOEREE
 - TH TER HEIJDE
 - NO NOORDWIJK
 - EG EGMOND
 - CA CALLANDSOOG
 - TS TERSCHELLING
 - RT ROTTUMERPLAAT

Gewijzigde schematisering van het model en de ligging van de stations van het meetnet WAKWON.

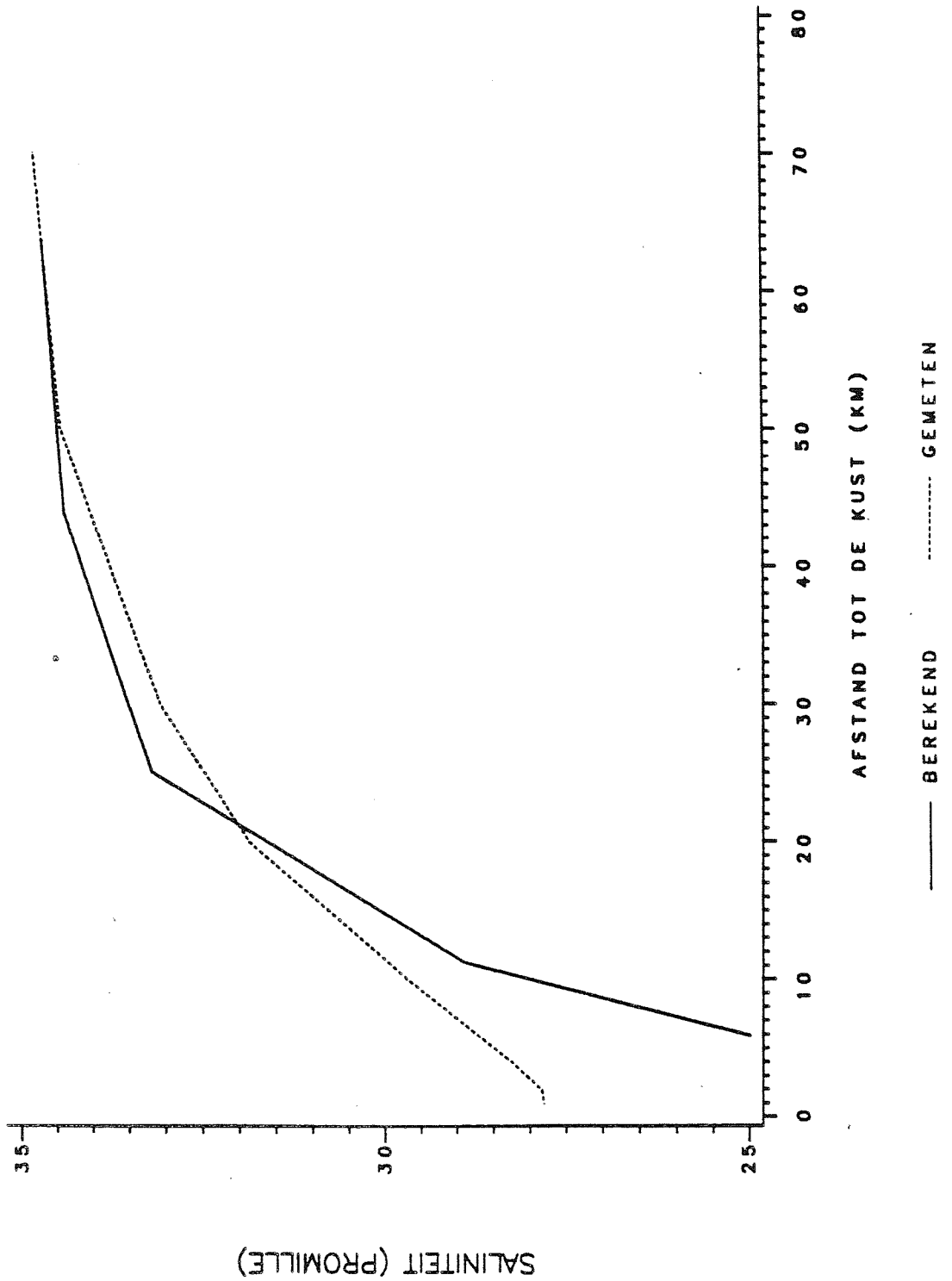


Resultaten met de nieuwe schematisering.
 Berekende en gemeten saliniteit voor de raai van
 a. Noordwijk b. Egmond



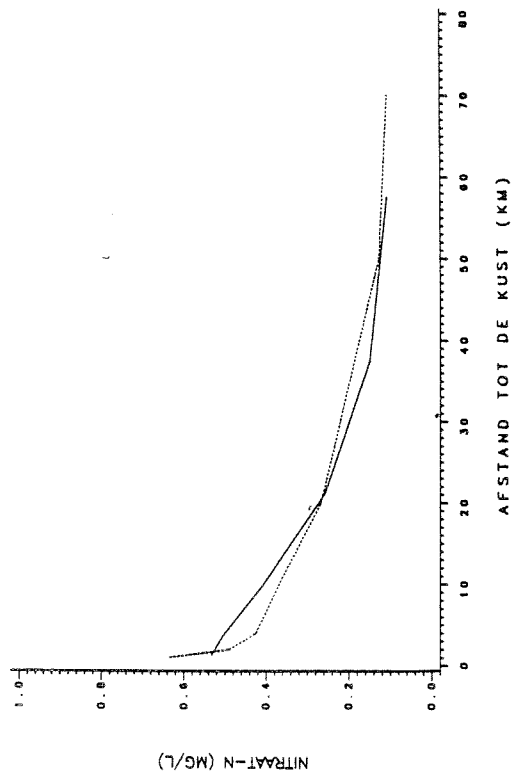
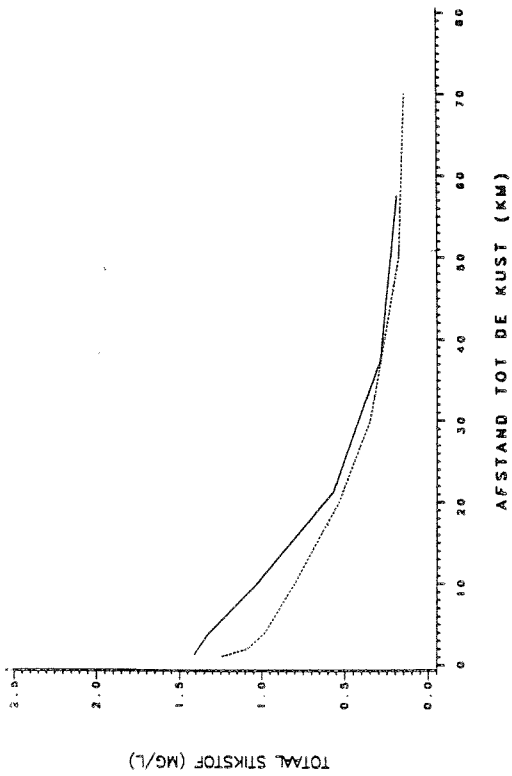
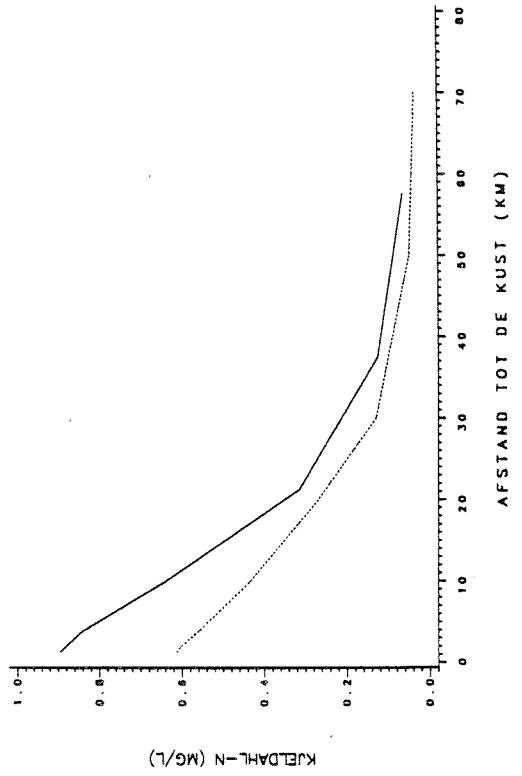
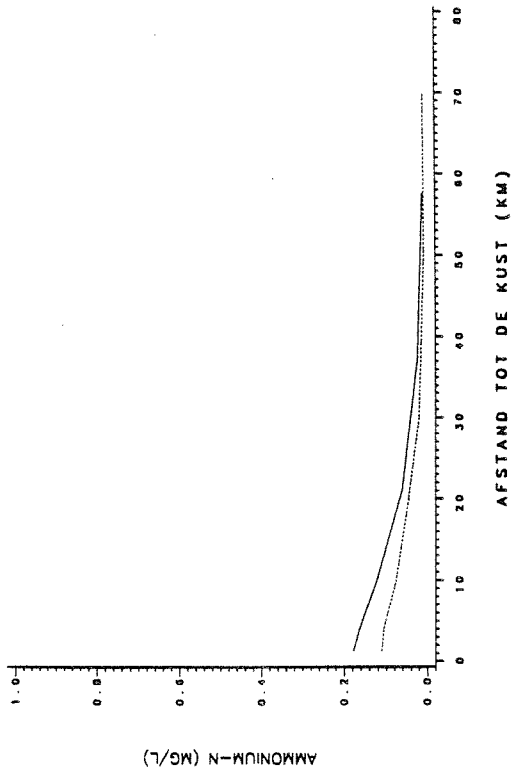
Resultaten met de nieuwe schematisering.
 Berekende en gemeten saliniteit voor de raai van
 a. Callantsoog b. Terschelling

A4



Resultaten met de nieuwe schematisering.
 Berekende en gemeten saliniteit voor de raai van
 Ter Heijde

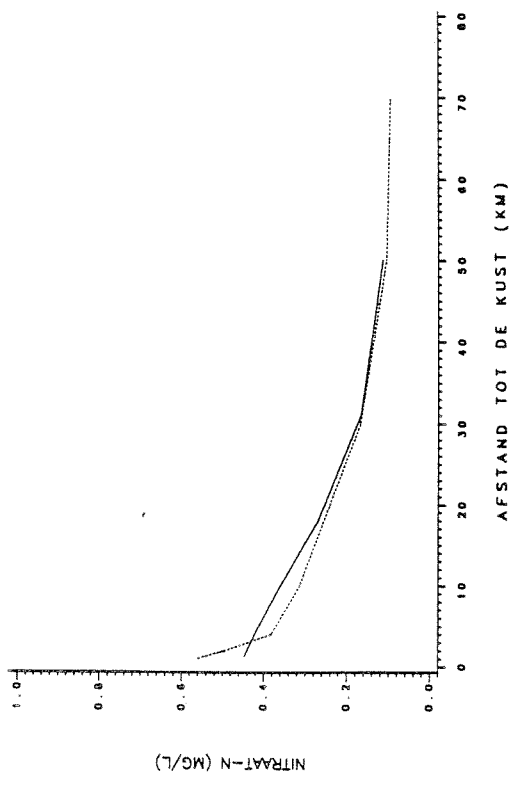
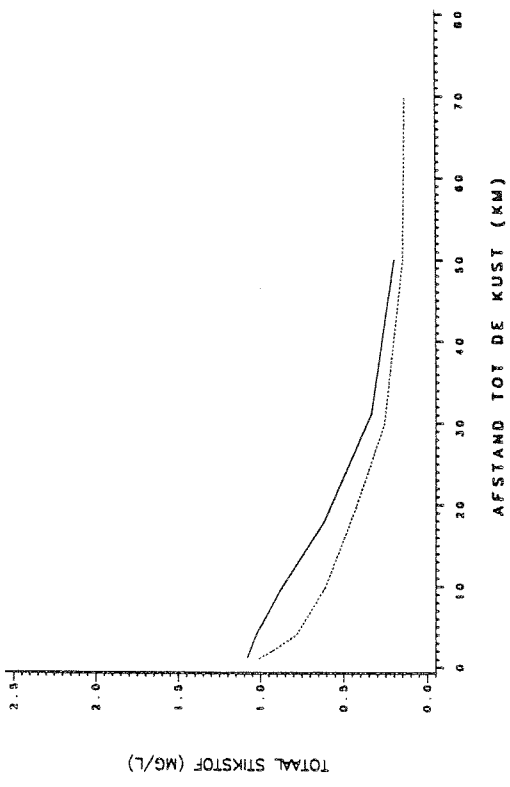
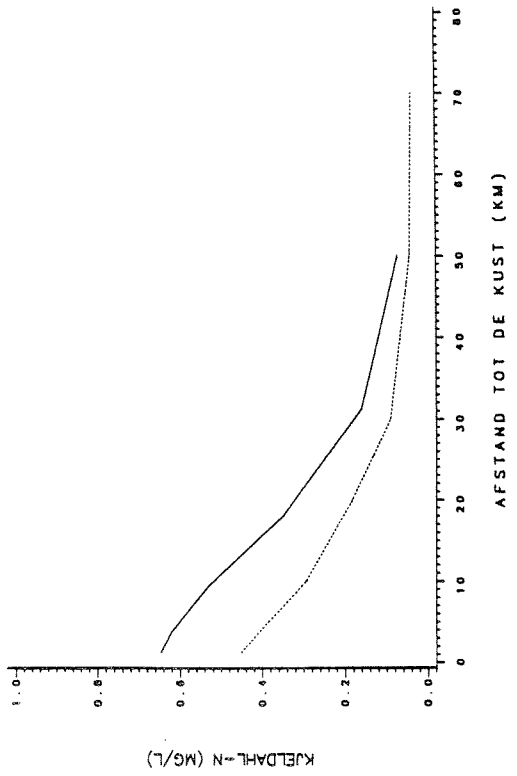
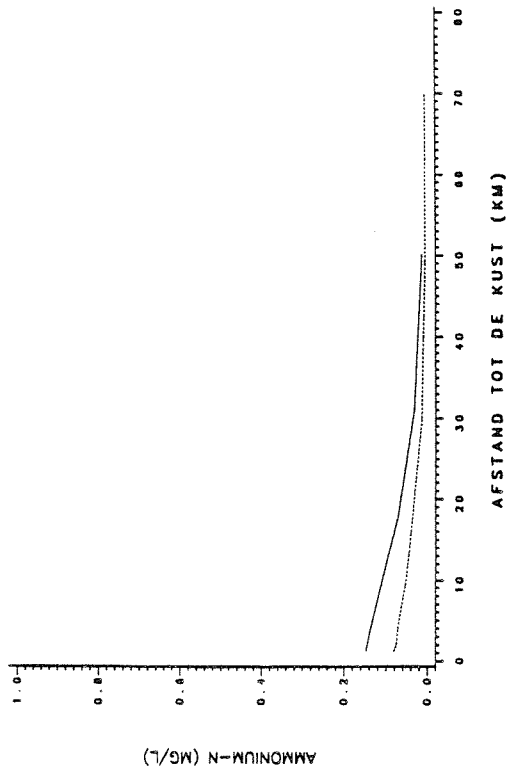
A4



————— GEMETEN
 BEREKEND

Verloop van berekende en gemeten stikstofgehalten voor de raai van Noordwijk

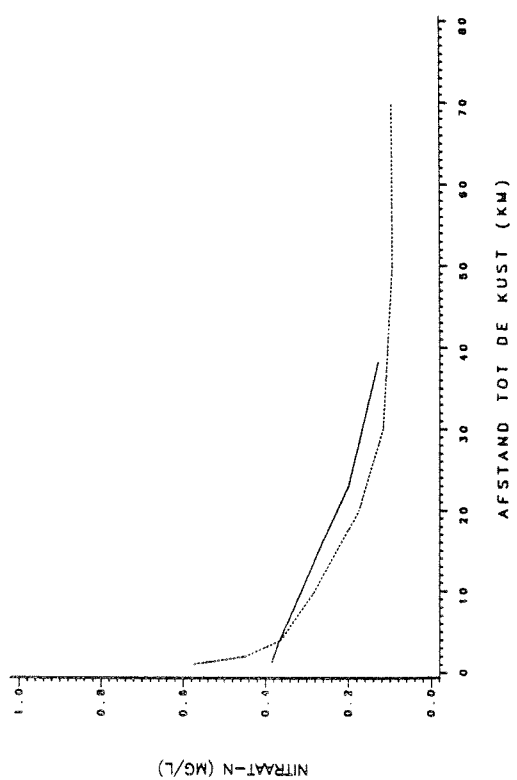
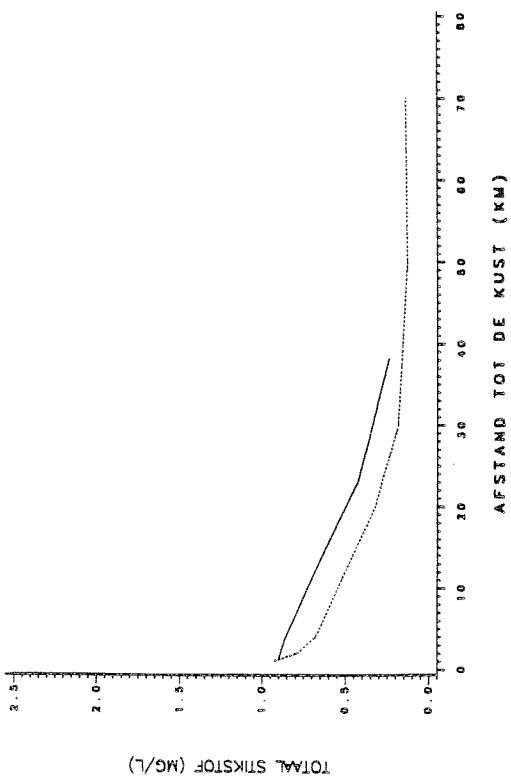
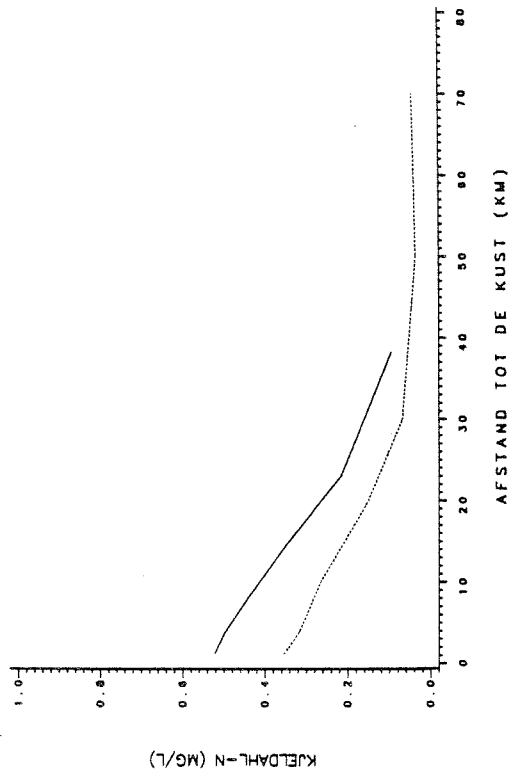
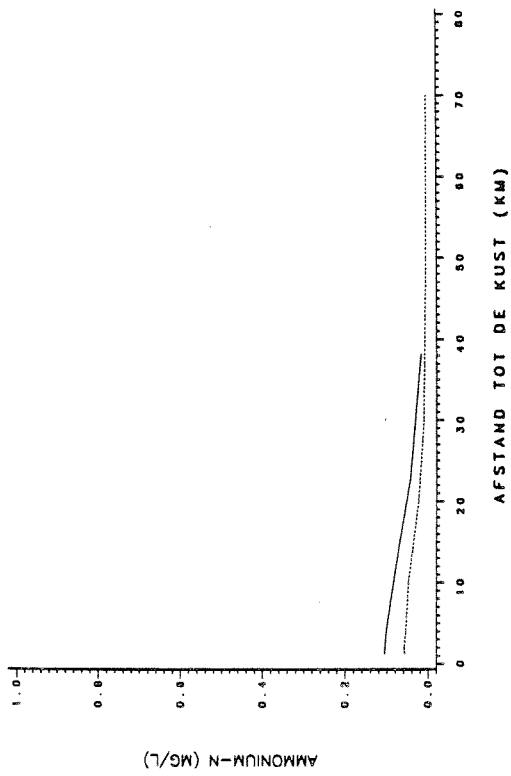
A4



————— BEREKEND GEMETEN

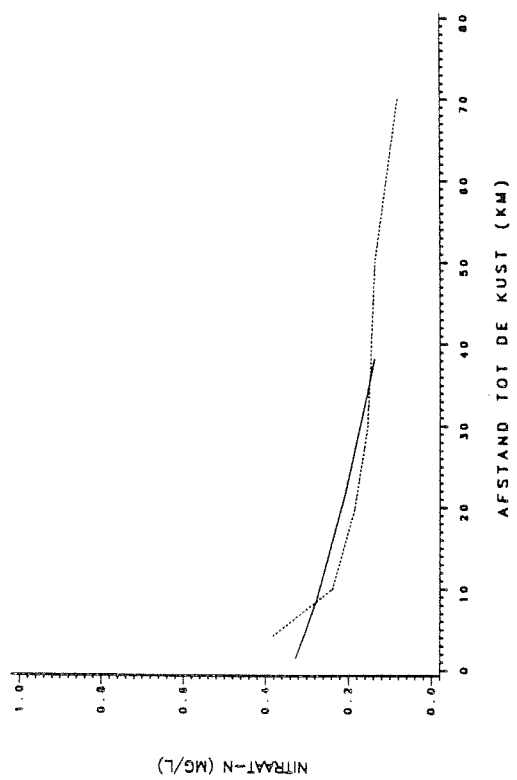
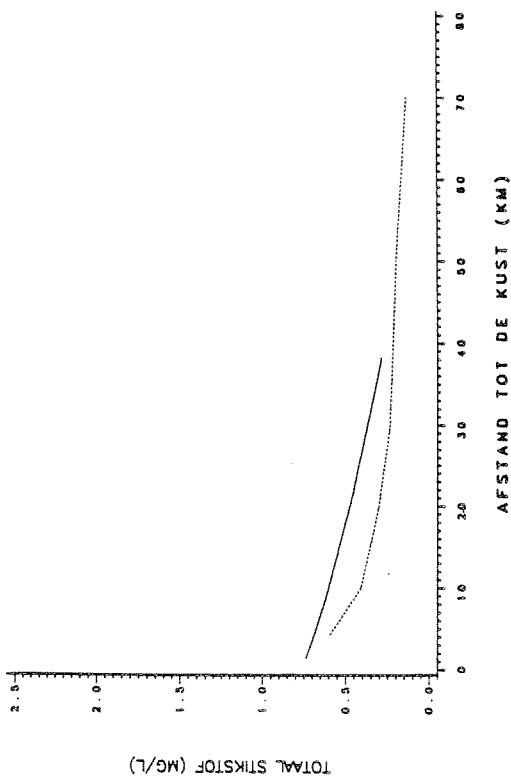
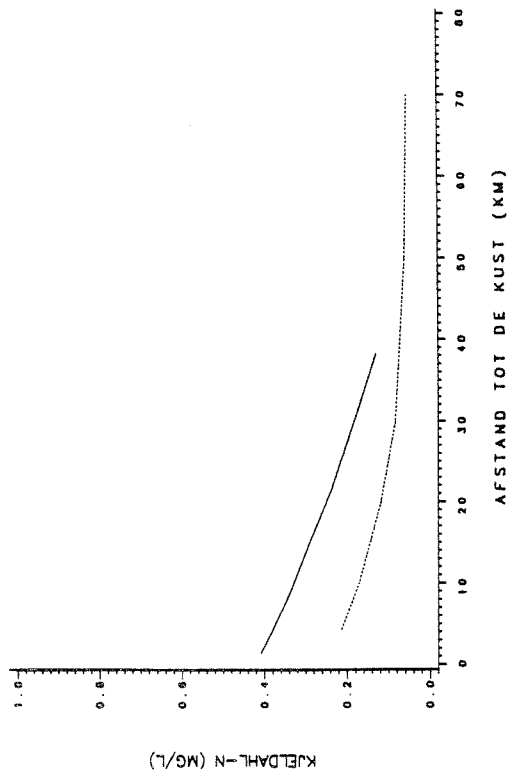
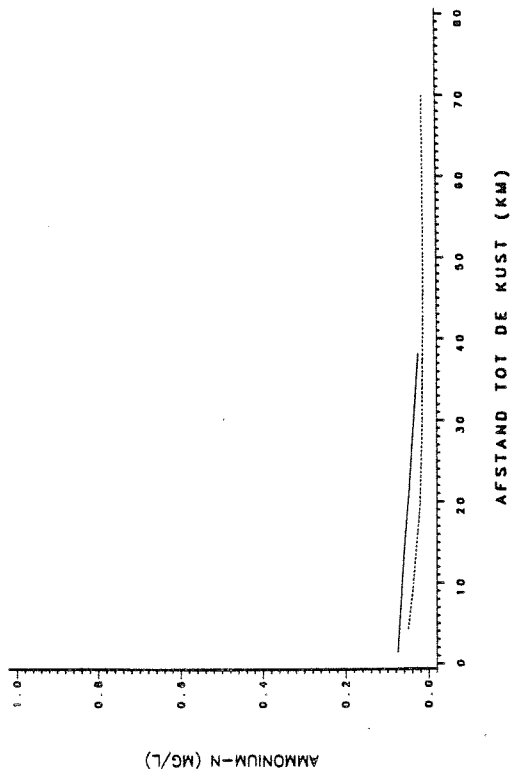
Verloop van berekende en gemeten stikstofgehalten voor de raai van Egmond

A4



————— BEREKEND
 GEMETEN

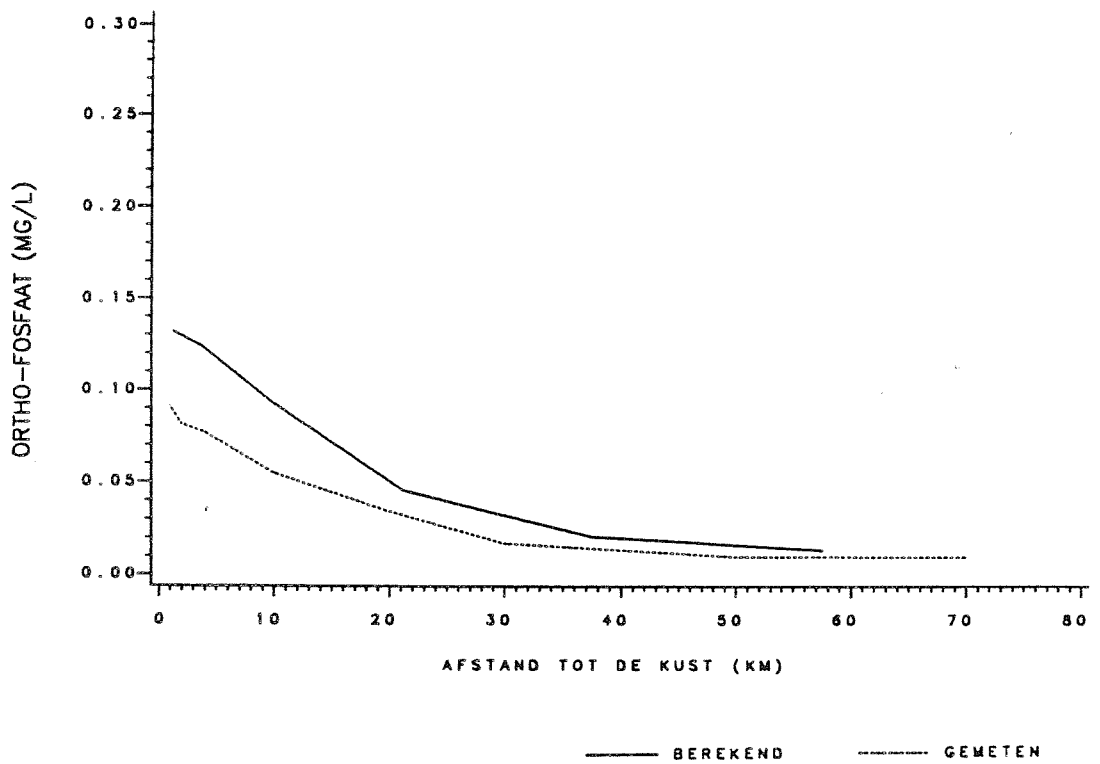
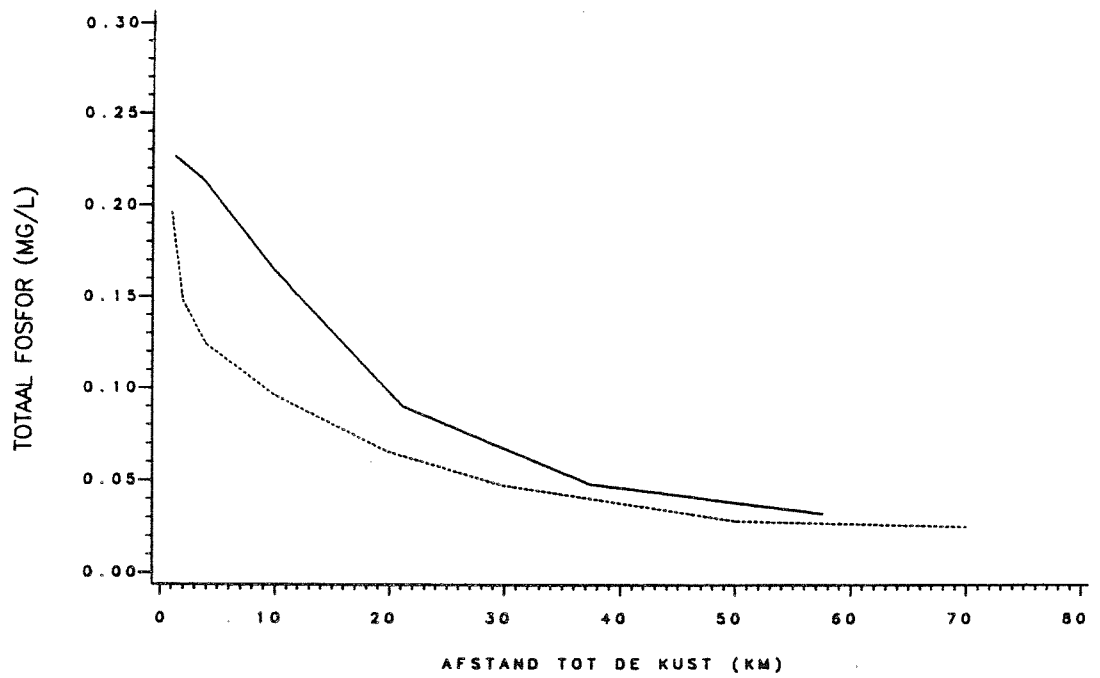
Verloop van berekende en gemeten stikstofgehalten voor de raai van Callantsoog



————— BEREKEND ······ GEMETEN

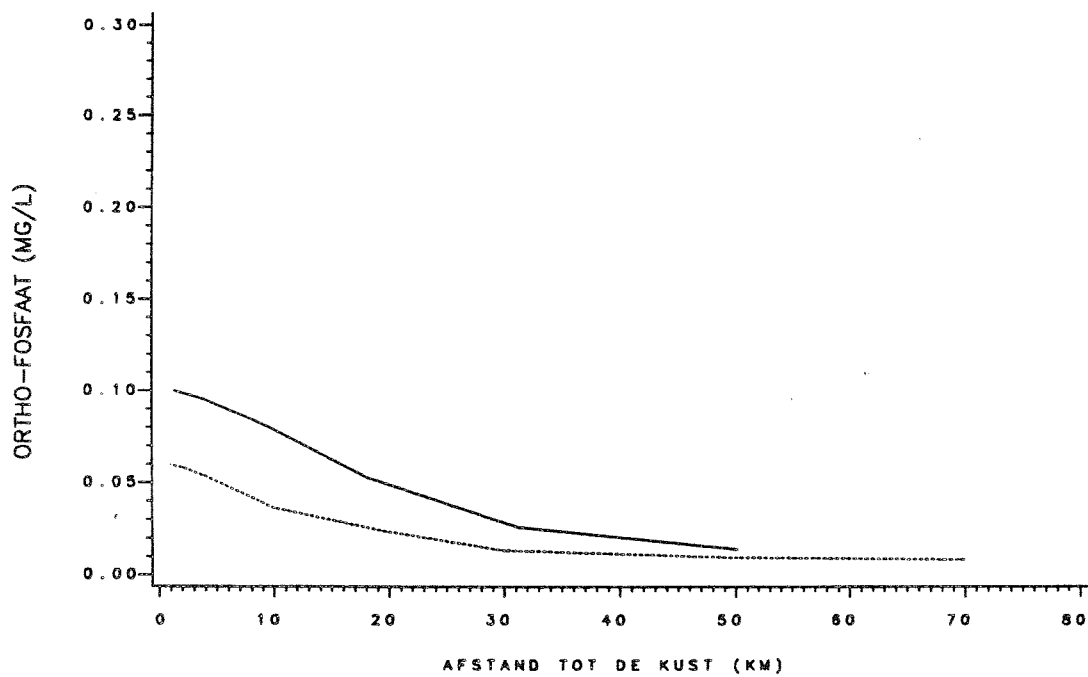
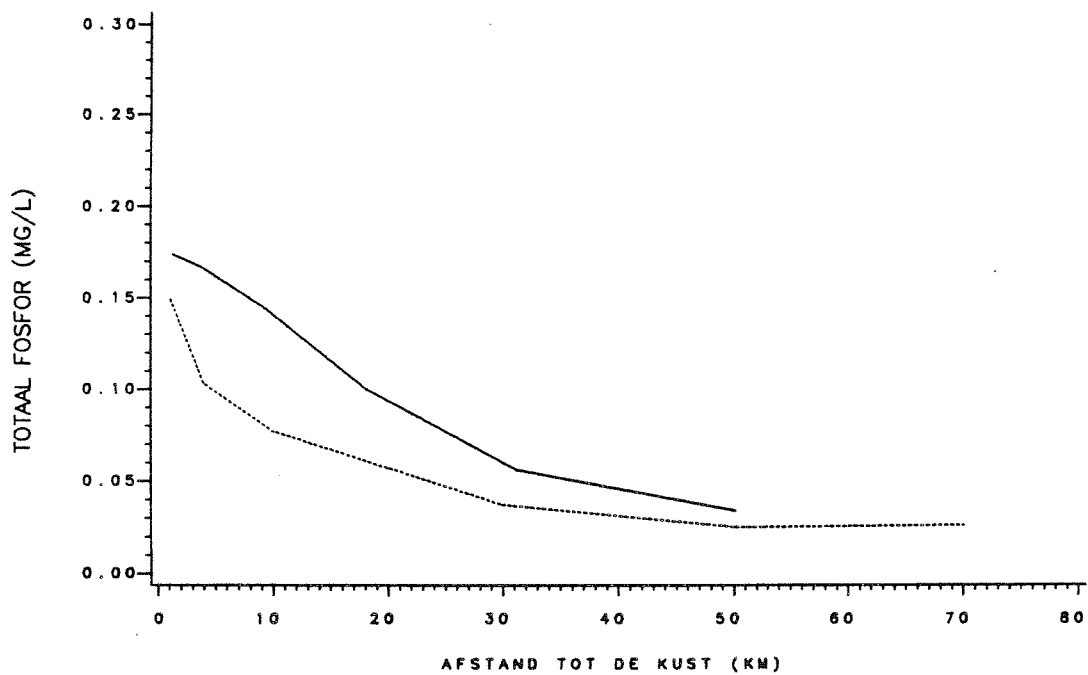
Verloop van berekende en gemeten stikstofgehalten voor de raai van Terschelling

A4



Verloop van berekende en gemeten fosforgehalten voor de raai van Noordwijk

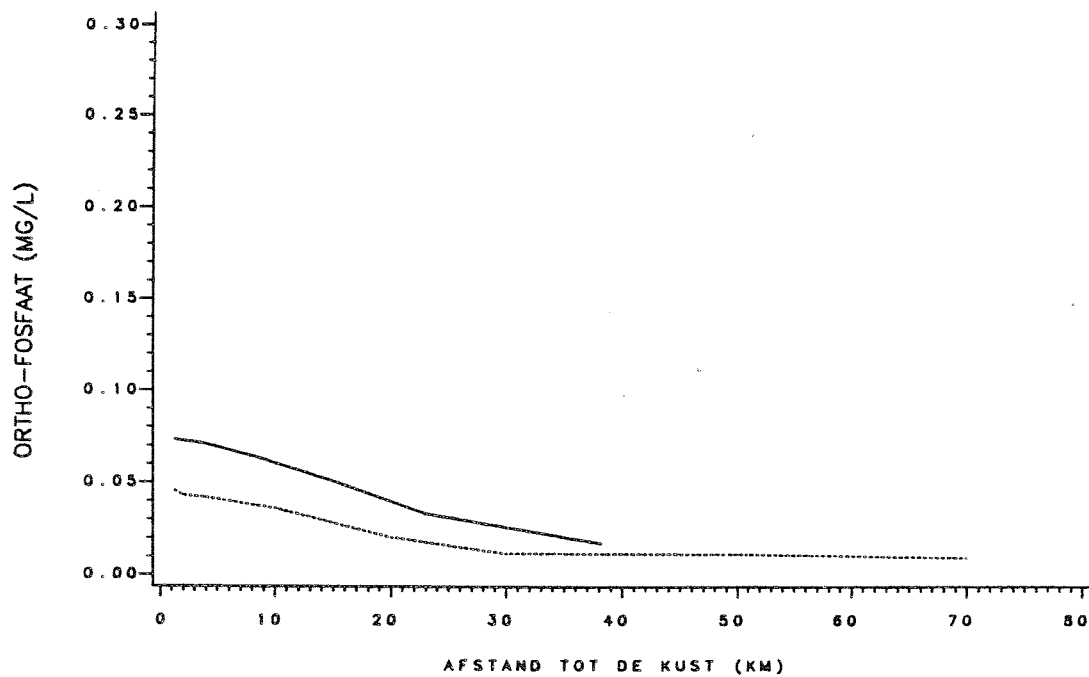
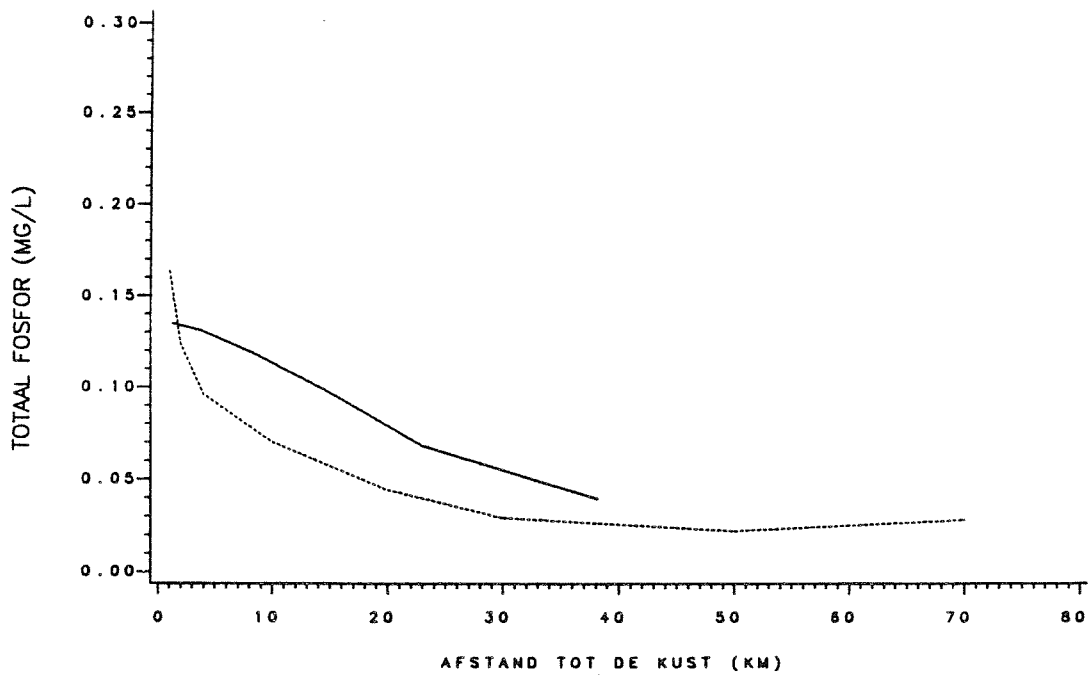
A4



— BEREKEND - - - - GEMETEN

Verloop van berekende en gemeten fosforgehalten voor de raai van Egmond.

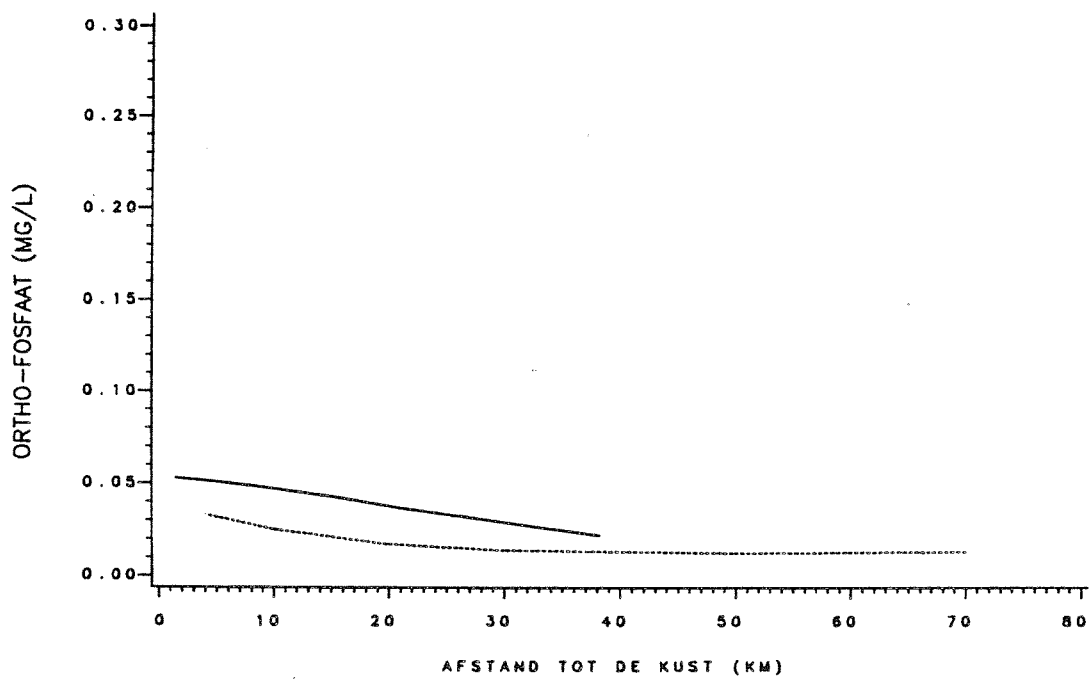
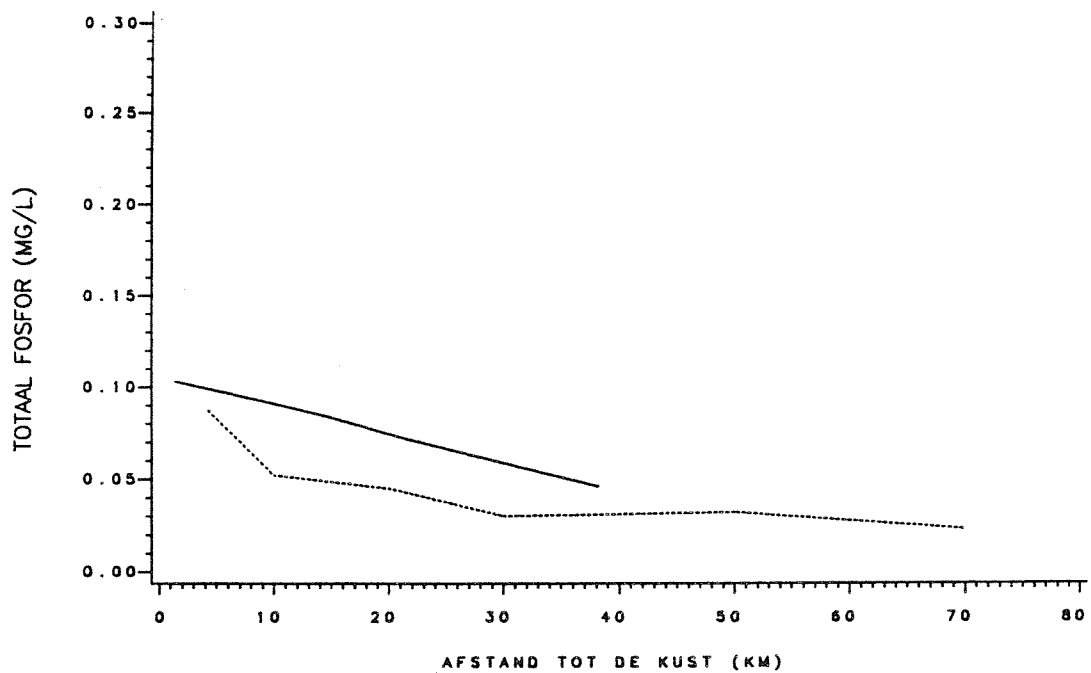
A4



———— BEREKEND - - - - - GEMETEN

Verloop van berekende en gemeten fosforgehalten voor de raai van Callantsoog.

A4

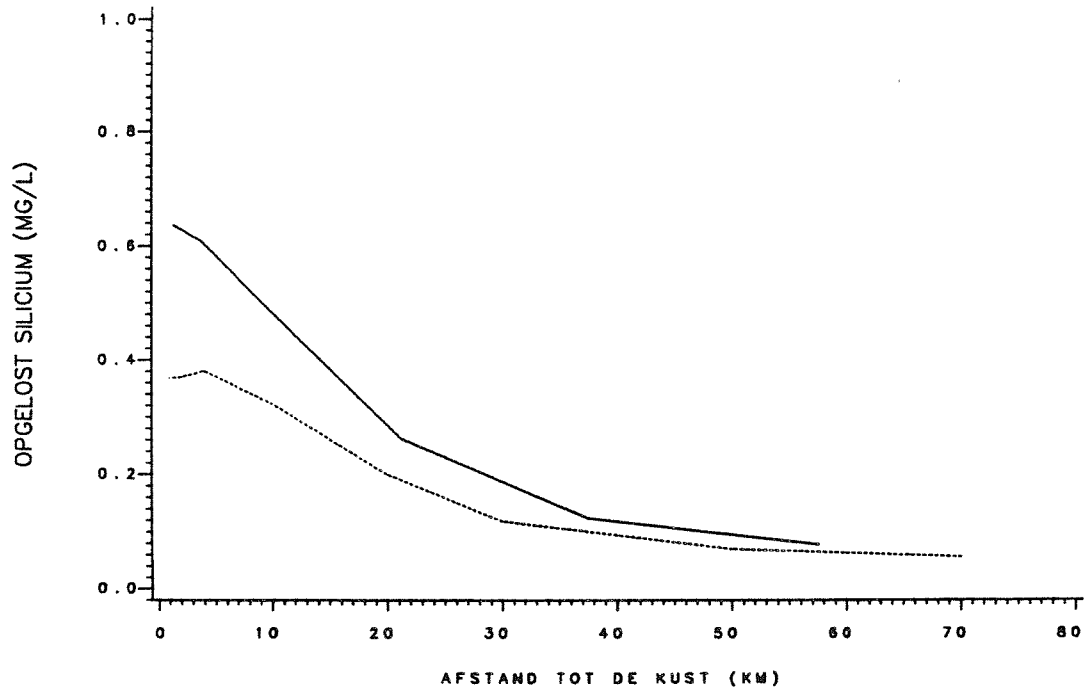


— BEREKEND - - - - - GEMETEN

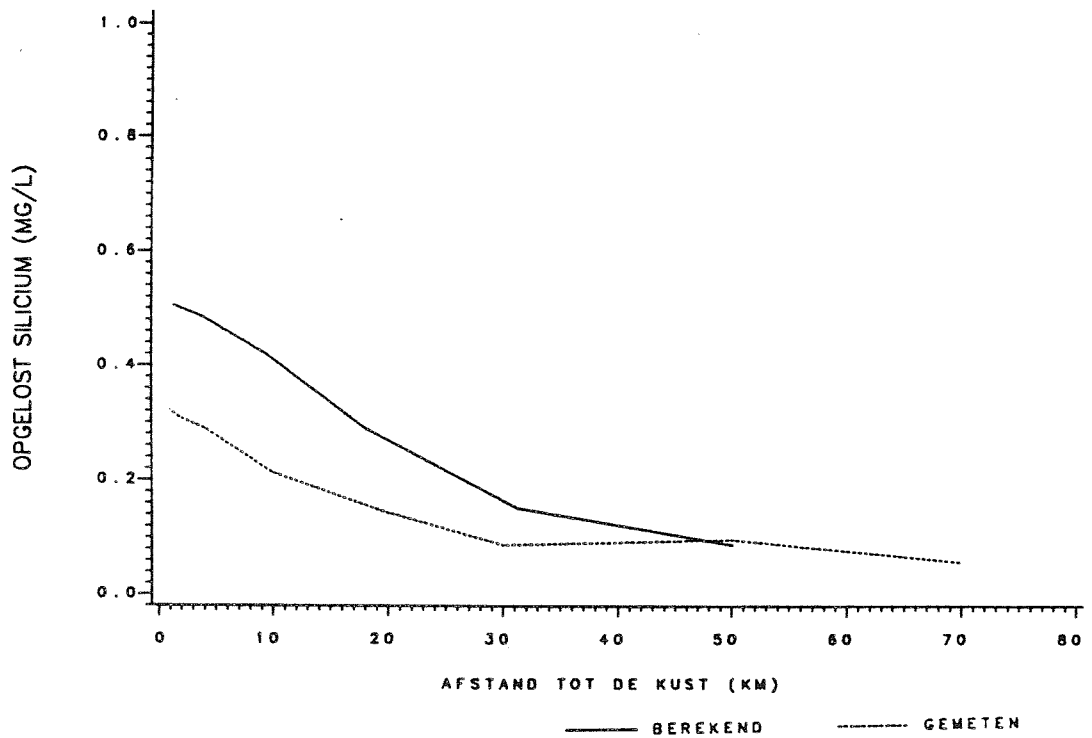
Verloop van berekende en gemeten fosforgehalten voor de raai van Terschelling.

A4

a.



b.

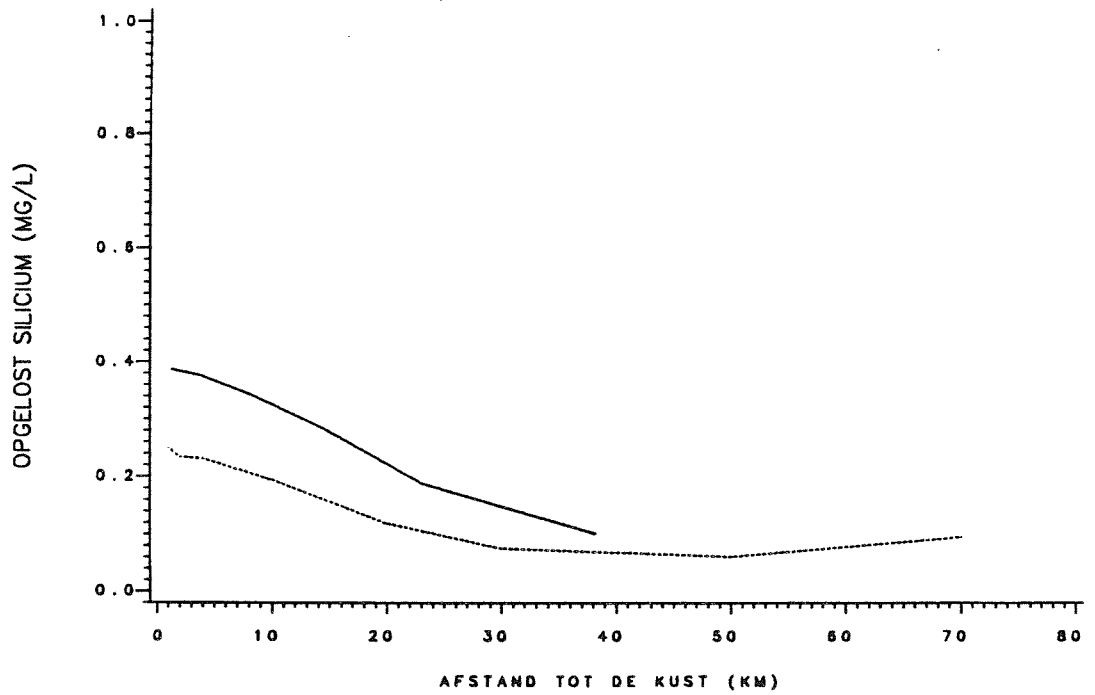


Verloop van berekende en gemeten gehalten van opgelost silicium voor de raai van
 a. Noordwijk b. Egmond

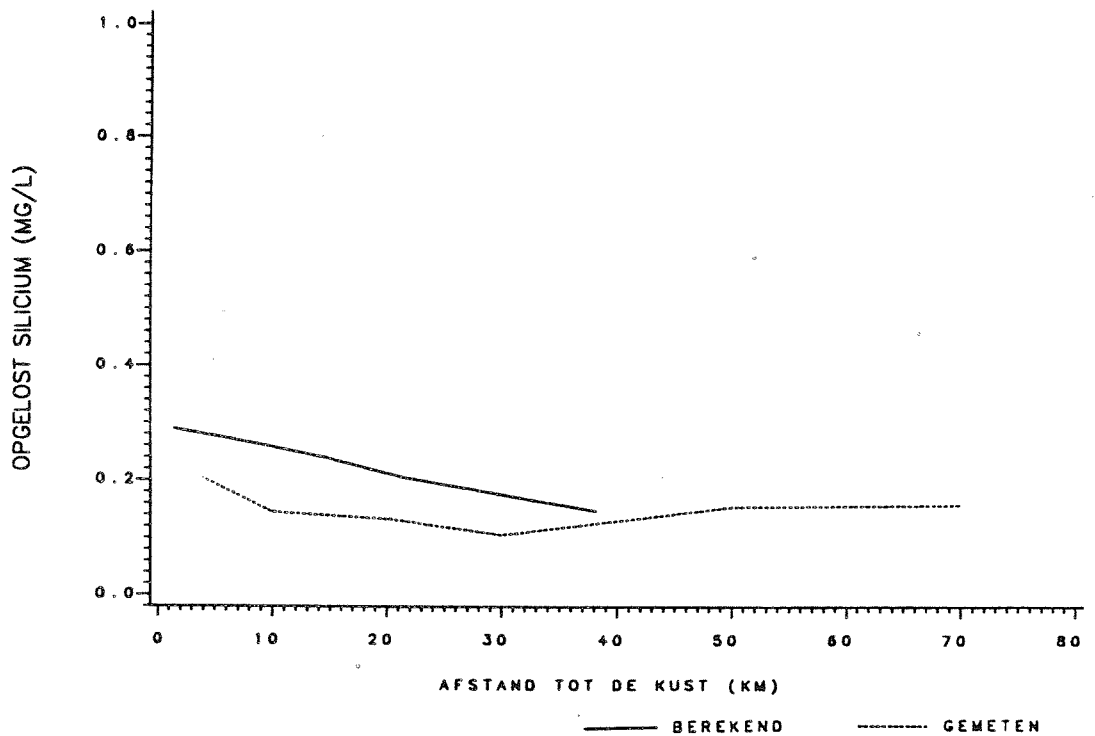
--

A4

a.



b.

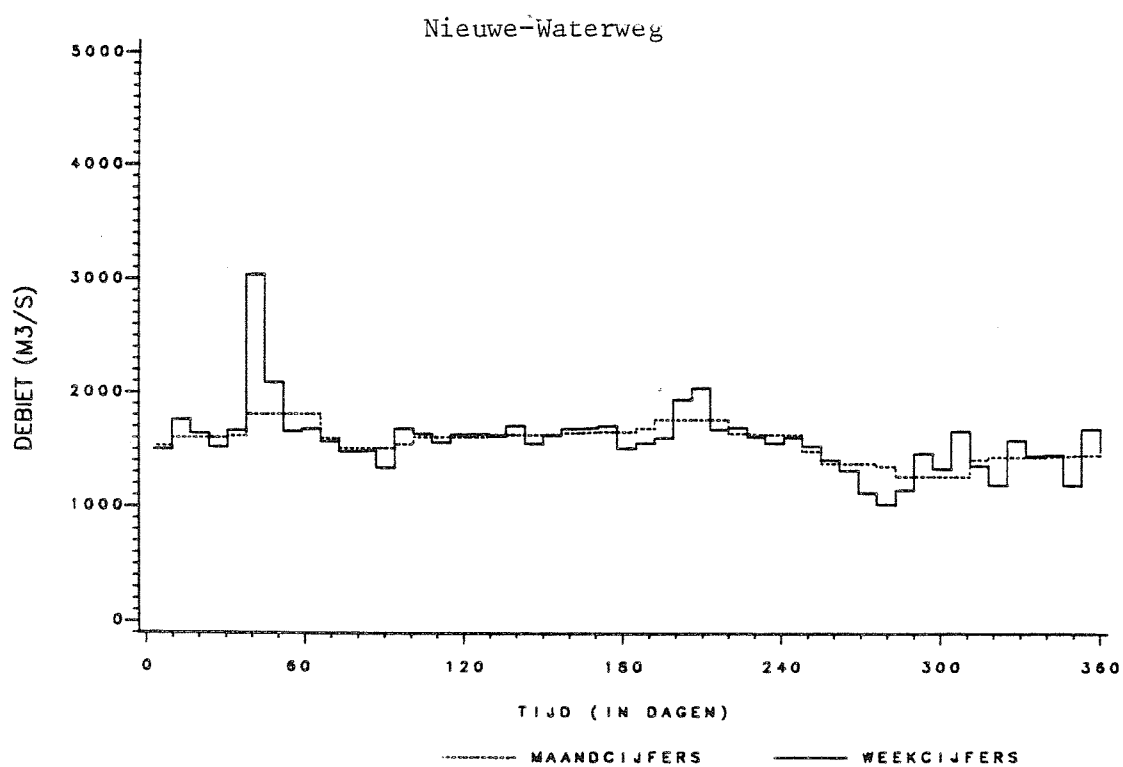
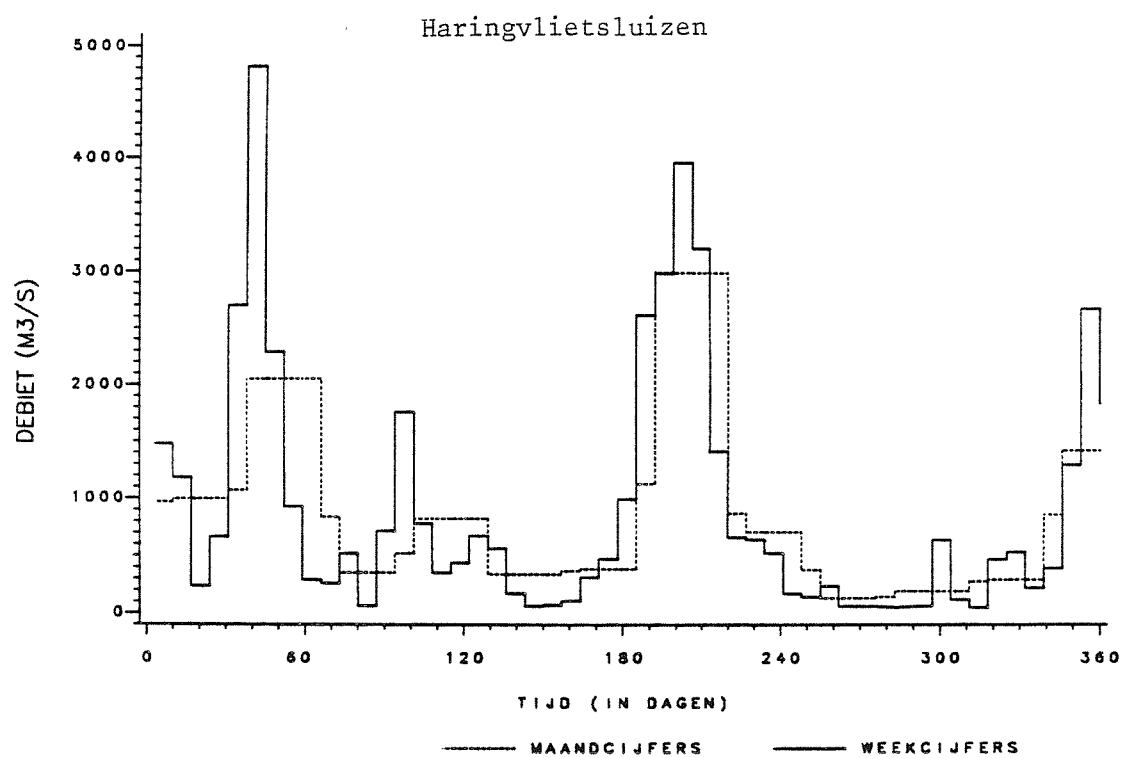


Verloop van berekende en gemeten gehalten van opgelost silicium voor de raai van
 a. Callantsoog b. Terschelling

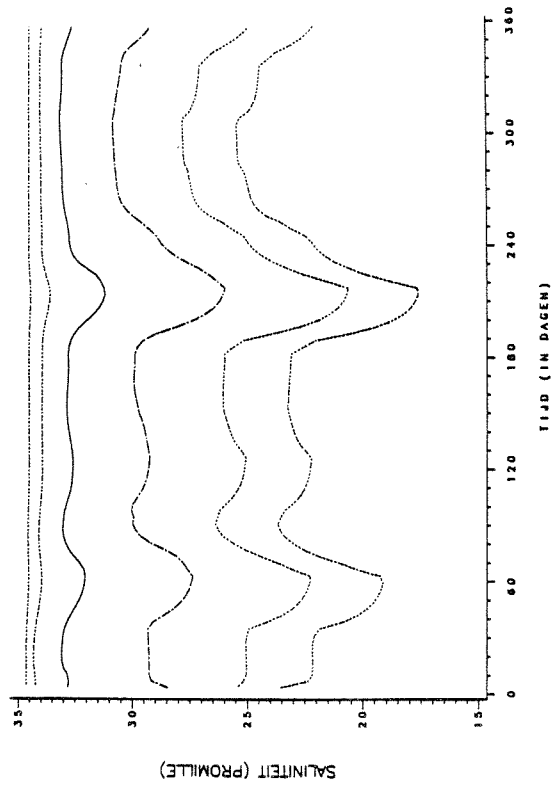
--

--

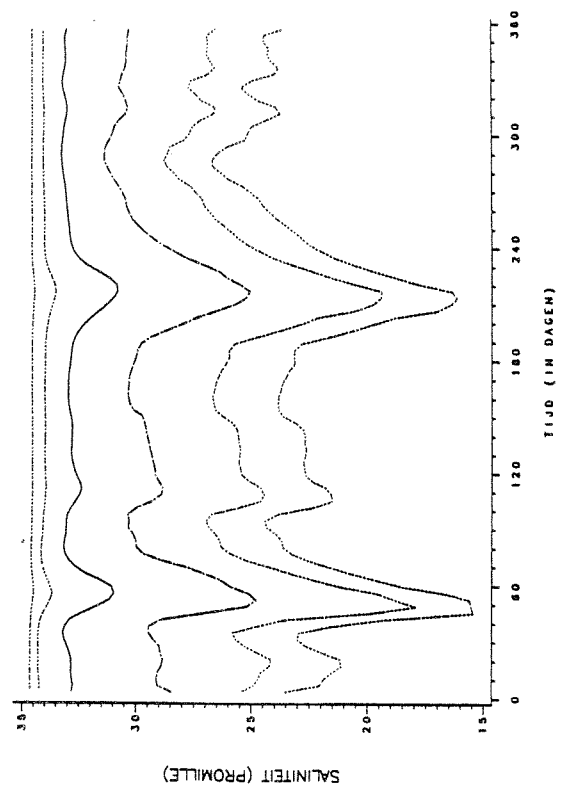
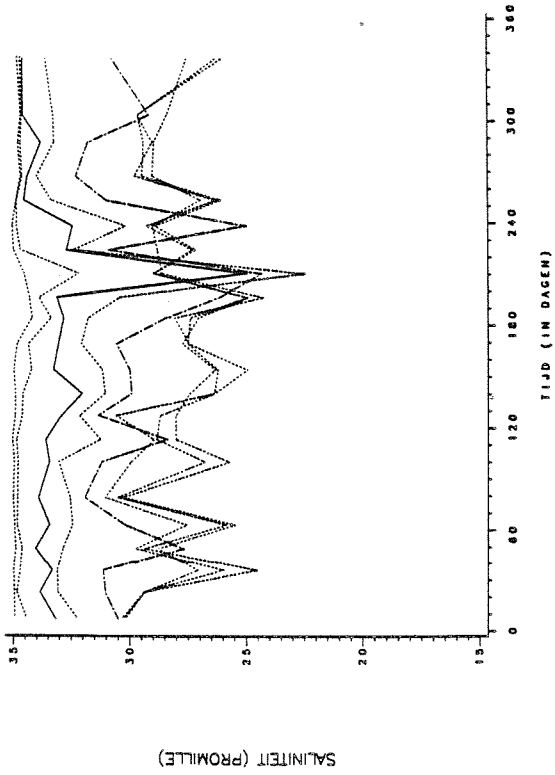
A4



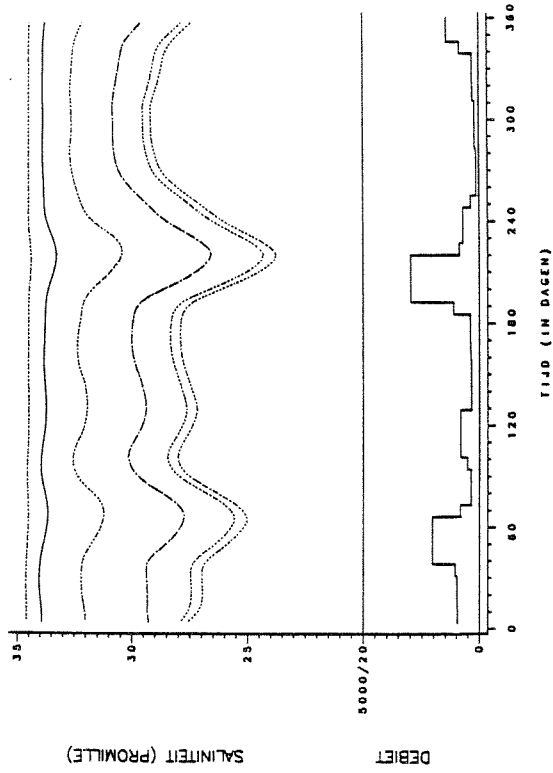
Afvoerdebit van de Haringvlietsluizen en de Nieuwe-Waterweg in 1980 (Waarden zijn gebaseerd op maand- en weekcijfers)



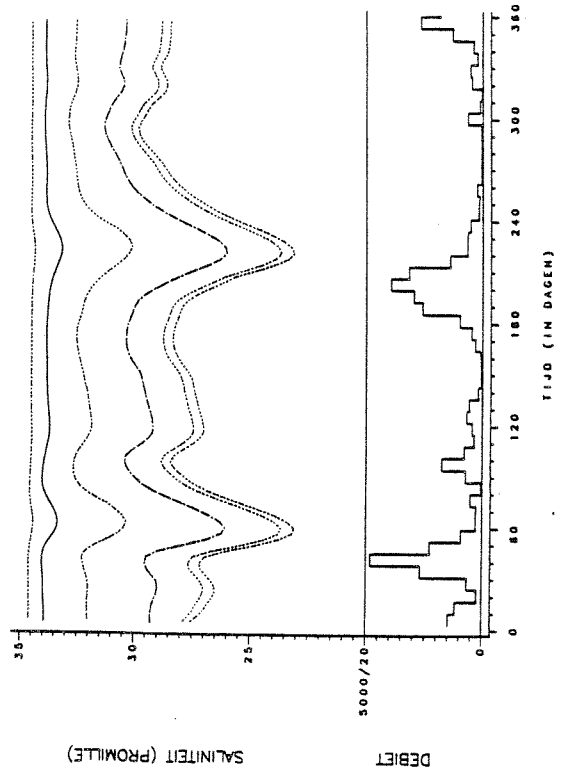
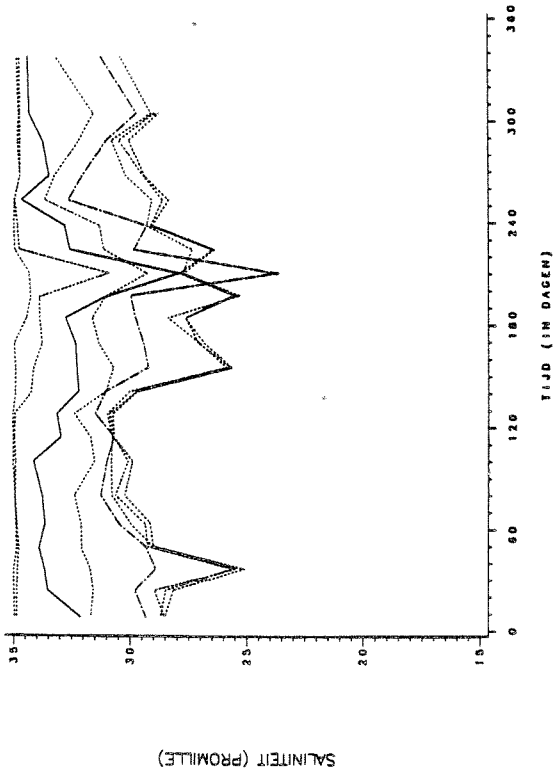
- - - - - AFSTAND CIRCA 10 KM
 ——— AFSTAND CIRCA 30 KM
 ······ OVERIGE STATIONS



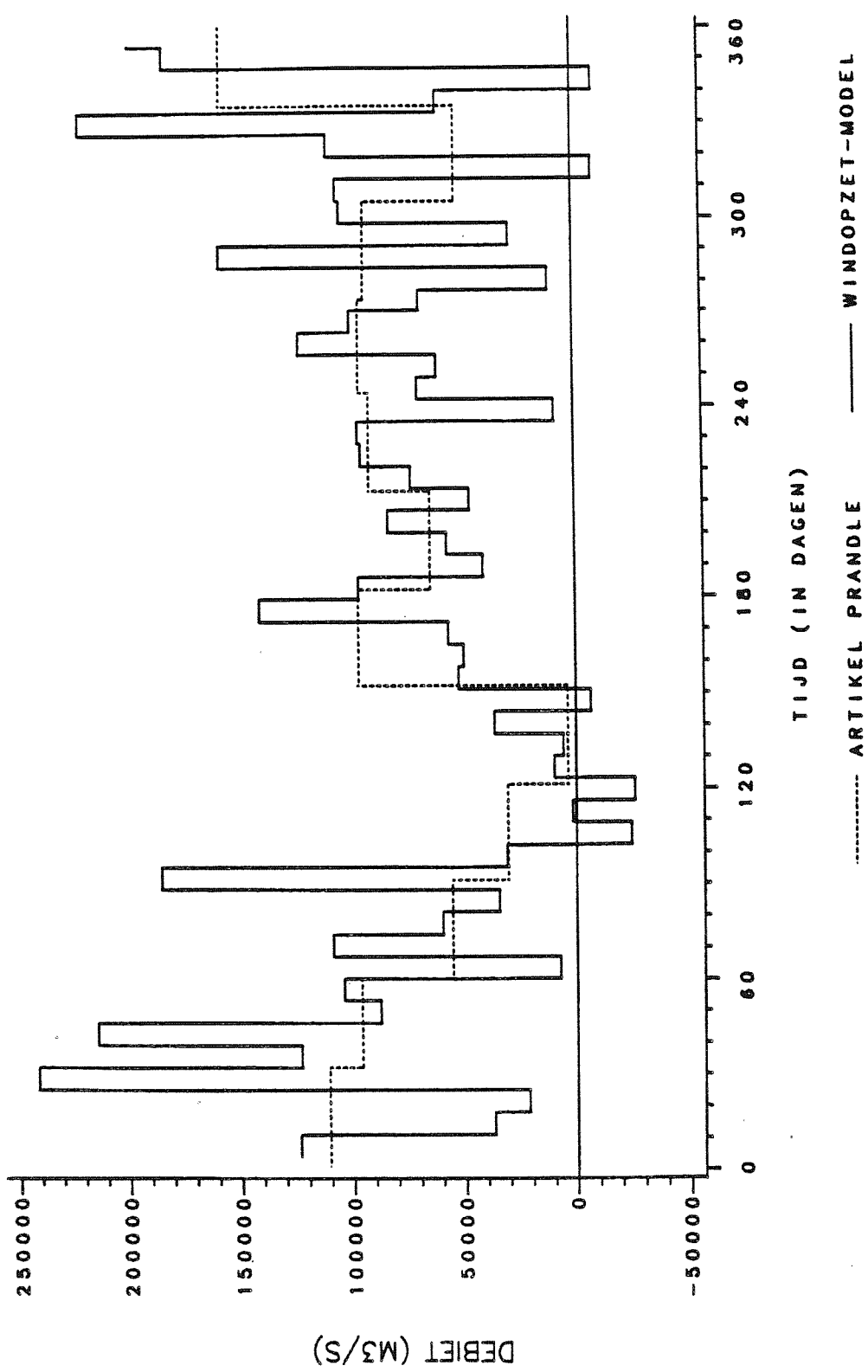
Resultaten van de dynamische berekeningen met constant reststroomdebiet voor de raai van Ter Heide.



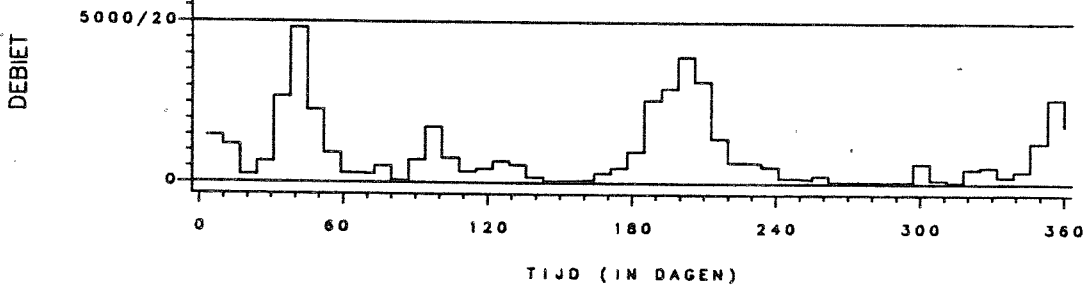
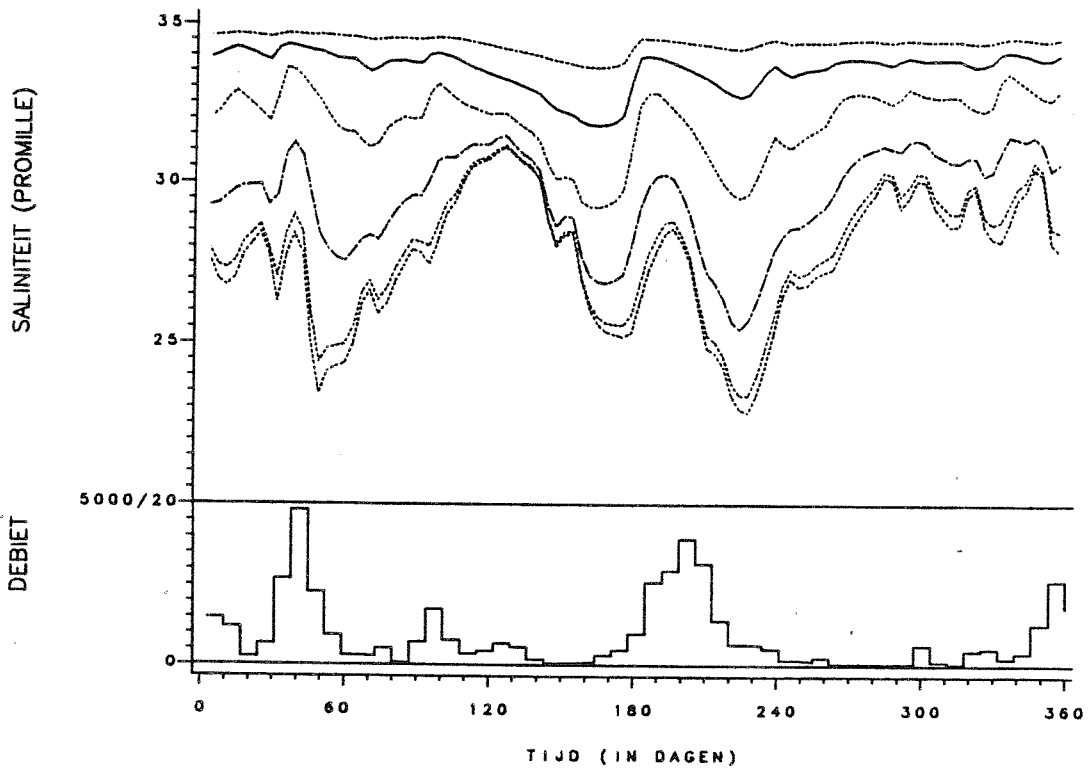
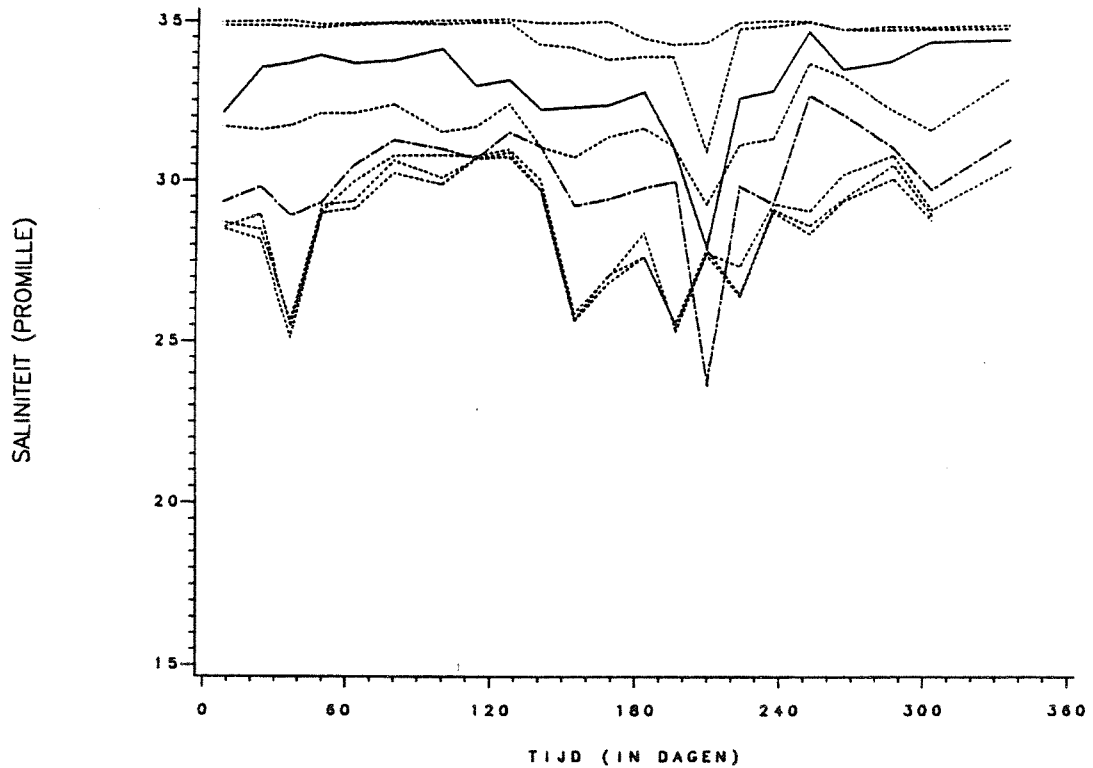
----- AFSTAND CIRCA 10 KM
 ——— AFSTAND CIRCA 30 KM
 OVERICE STATIONS



Resultaten van de dynamische berekeningen met constant reststroomdebiet voor de raai van Noordwijk.



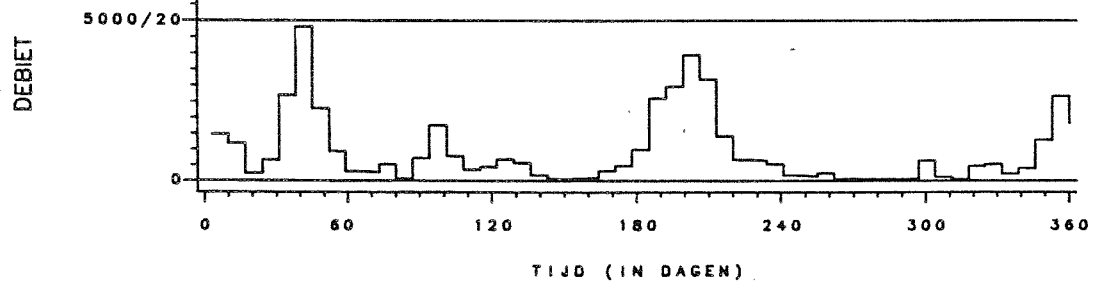
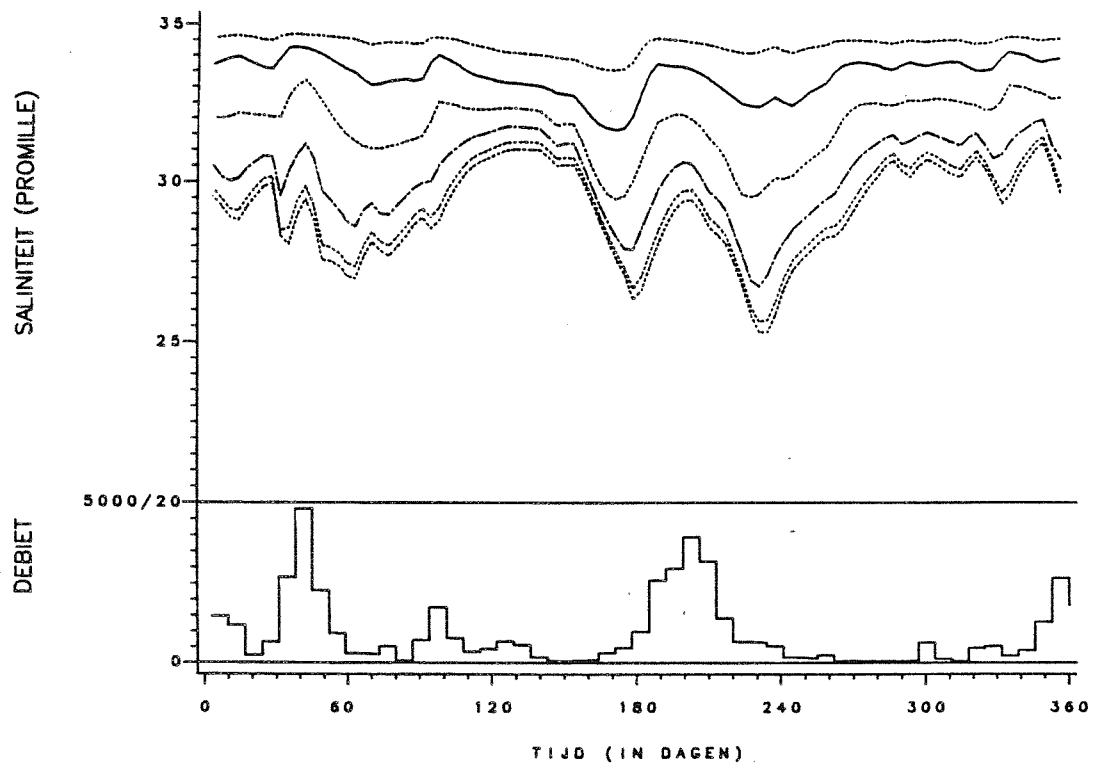
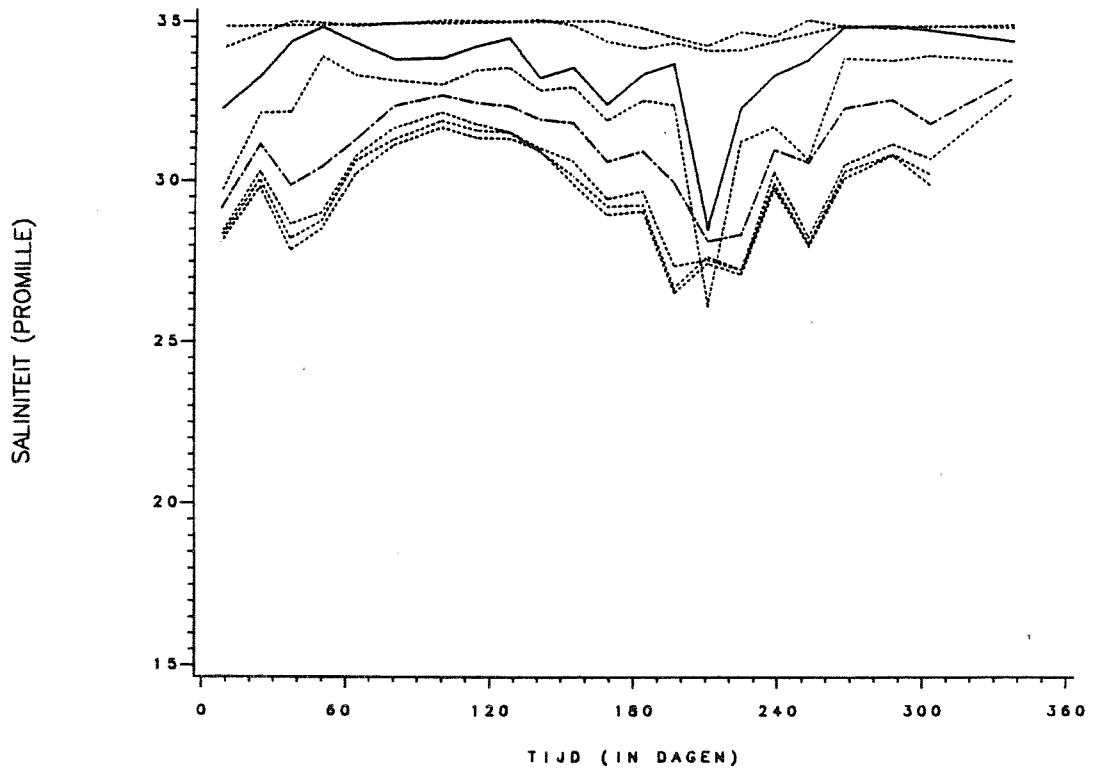
Variatie van het reststroomdebiet volgens het windopzetmodel en volgens Prandle.



— AFSTAND CIRCA 10 KM
 — AFSTAND CIRCA 30 KM
 - - - OVERIGE STATIONS

Resultaten van de berekening met variërend reststroom-
 debiet, vergeleken met de metingen, voor de raai van
 Noordwijk.

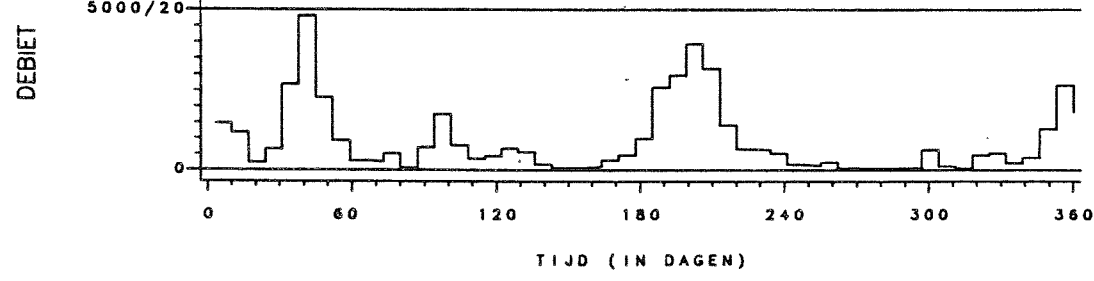
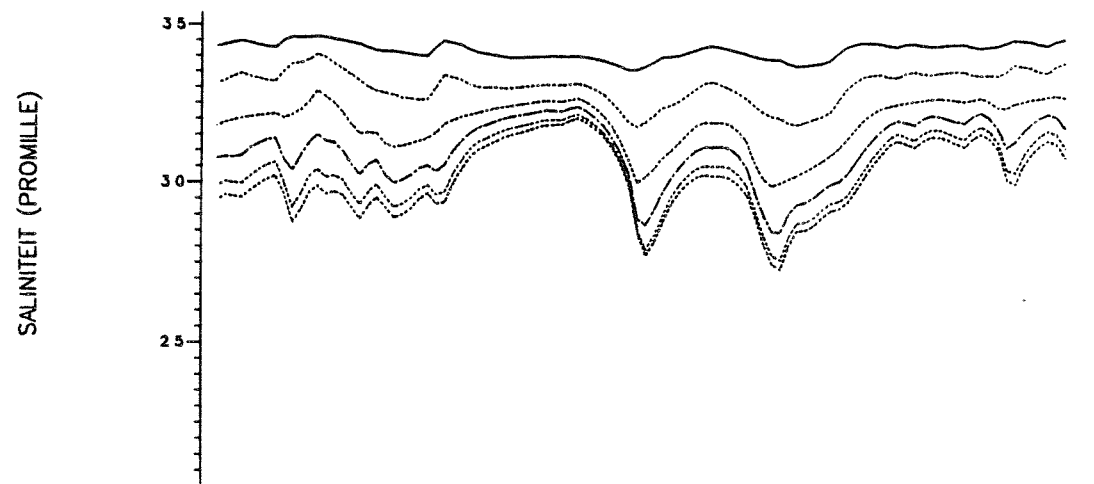
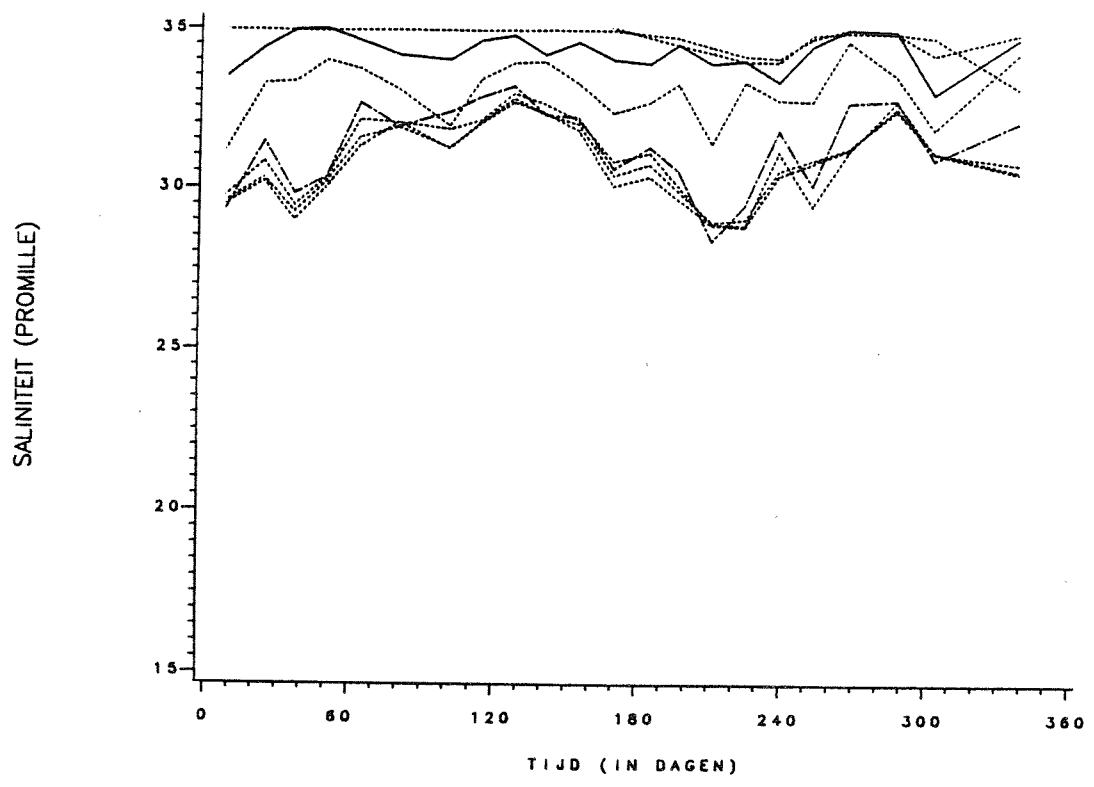
A4



— AFSTAND CIRCA 10 KM
 — AFSTAND CIRCA 30 KM
 - - - OVERIGE STATIONS

Resultaten van de berekening met variërend reststroom-debiet, vergeleken met de metingen, voor de raai van Egmond.

	A4
R 1727	Fig.29

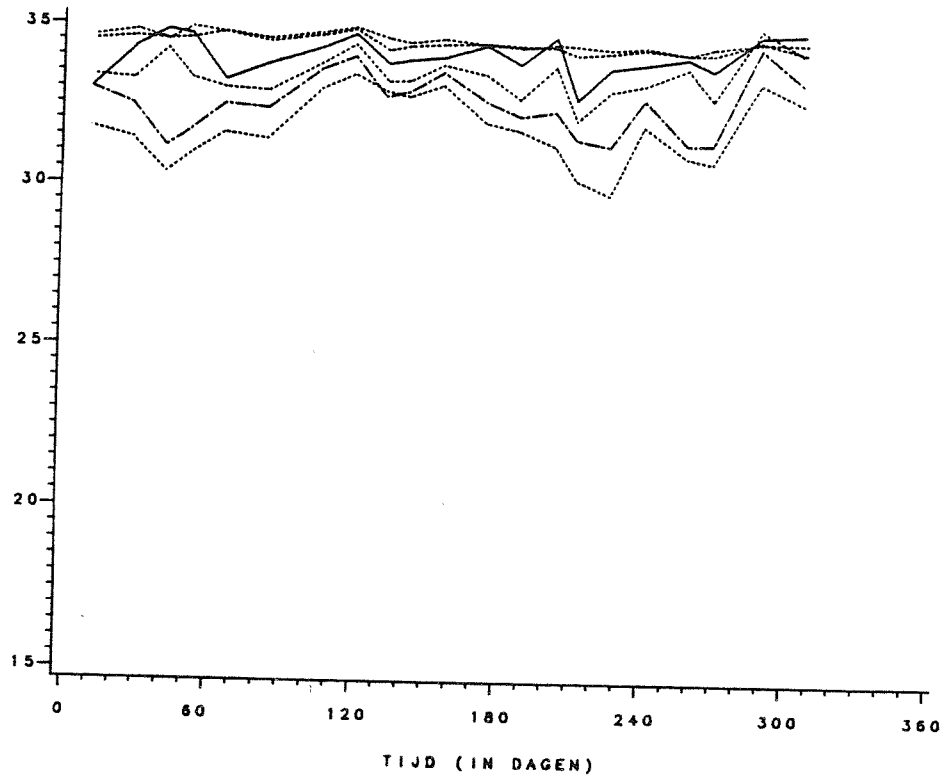


——— AFSTAND CIRCA 10 KM
 ——— AFSTAND CIRCA 30 KM
 - - - - - OVERIGE STATIONS

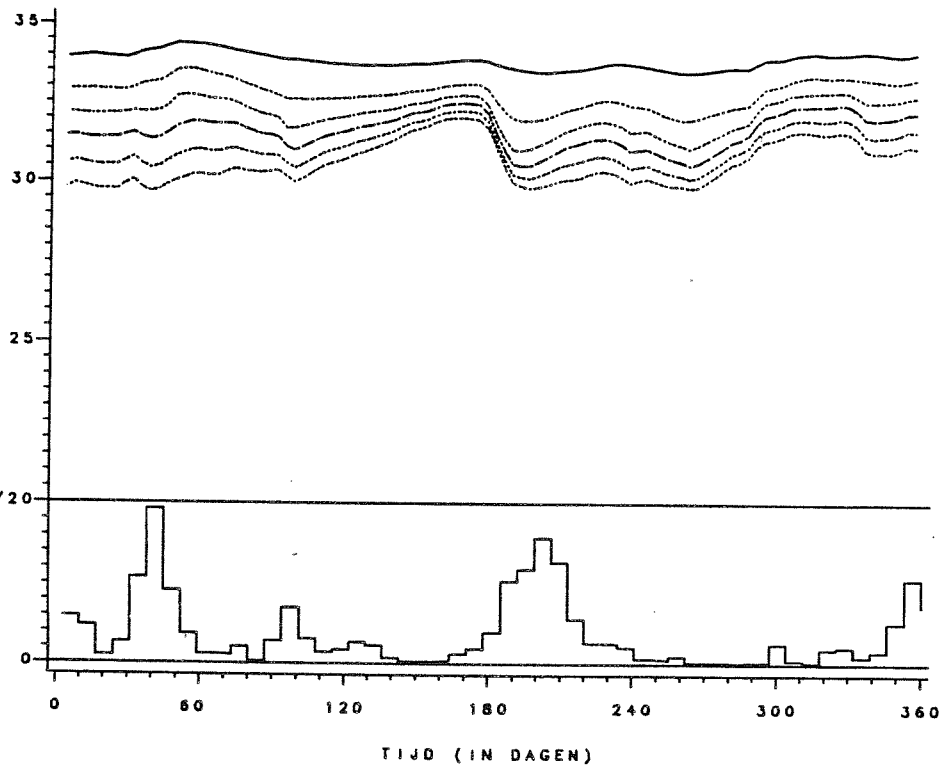
Resultaten van de berekening met variërend reststroomdebiet, vergeleken met de metingen, voor de raai van Callantsoog.

A4

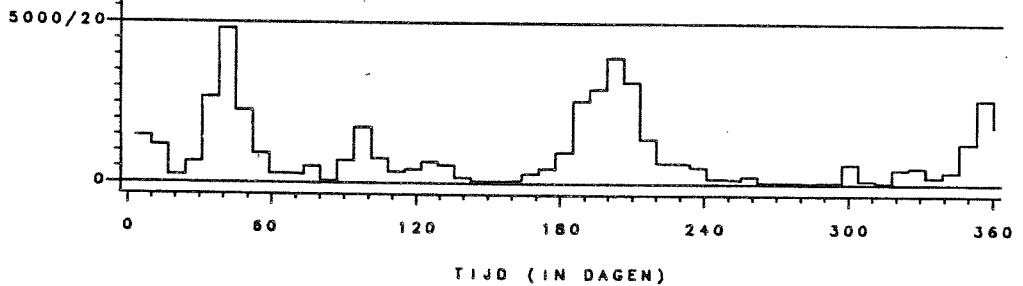
SALINITEIT (PROMILLE)



SALINITEIT (PROMILLE)



DEBIET

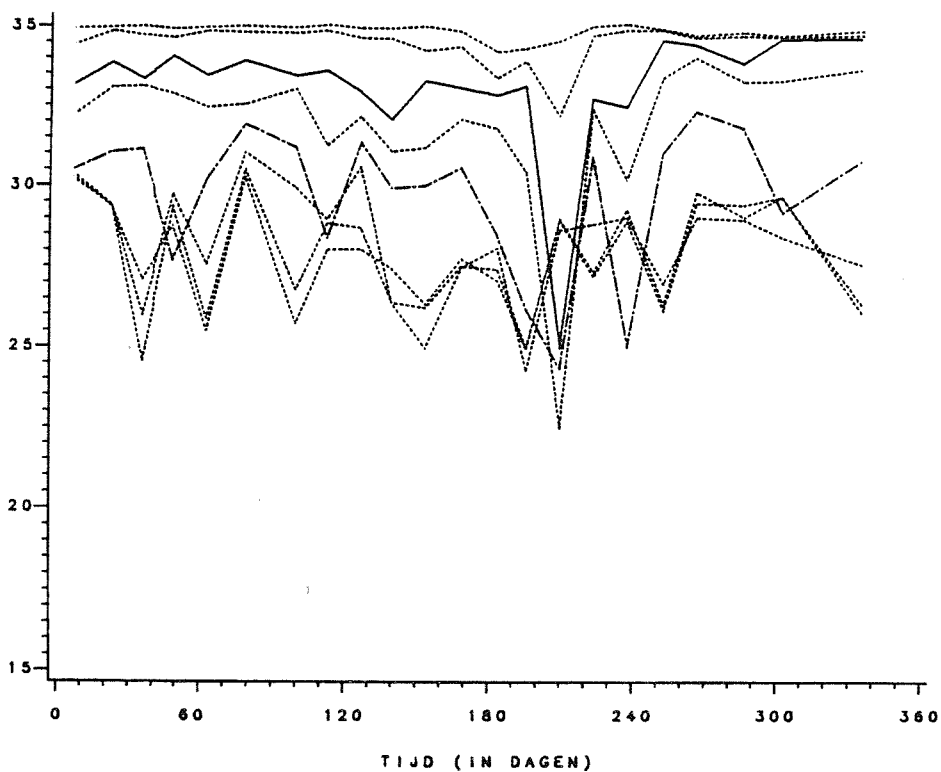


----- AFSTAND CIRCA 10 KM
 ————— AFSTAND CIRCA 30 KM
 OVERIGE STATIONS

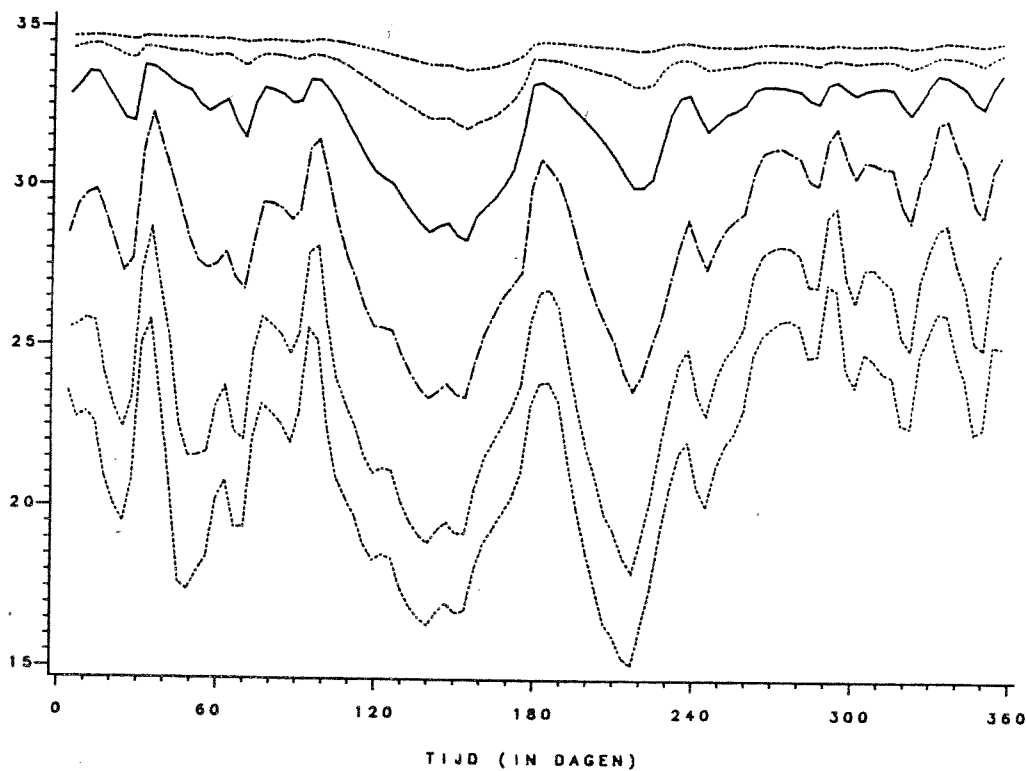
Resultaten van de berekening met variërend reststroom-debiet, vergeleken met de metingen, voor de raai van Terschelling.

A4

SALINITEIT (PROMILLE)



SALINITEIT (PROMILLE)



— AFSTAND CIRCA 10 KM
 — AFSTAND CIRCA 30 KM
 OVERICE STATIONS

Resultaten van de berekening met variërend reststroom-debiet, vergeleken met de metingen, voor de raai van Ter Heijde.

A4



Nummering van de segmenten in het model.

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands