

R. Pot

Oudmillingen geschiedenis  
van enkele oevers in de  
Rauwenmeijolder

1983

D 295

Ontziltingsgeschiedenis van enkele oevers in de Lauwerszeepolder

onderzoeksperiode: april - stu 80

Roelf Pot

december 1983

Doktoraalverslag

Vakgroep Plantenoecologie R.U.G.  
Biologisch Centrum  
Haren (Gn).

Doktoraalverslagen van de Vakgroep Plantenoecologie zijn interne rapporten, dus geen officiële publikaties.

De inhoud varieert van een eenvoudige bespreking van onderzoeksresultaten tot een concluderende discussie van gegevens in wijder verband.

De konklusies, veelal slechts gesteund door kortlopend onderzoek, zijn meestal van voorlopige aard en komen voor rekening van de auteur(s).

Overname en gebruik van gegevens slechts toegestaan na overleg met auteur(s) en/of Vakgroepbestuur.

## Inleiding.

In 1980 werd een aanzet gegeven tot de inventarisatie van de oevervegetatie in de Lauwerszeepolder. De verslaggeving hiervan is grotendeels neergelegd in het doktoraal-stage verslag van Anja Keizer. Hoewel dit verslag ook de relatie tussen de oevervegetatie en de saliniteit van de bouwvoor behandelt, wordt weinig aandacht geschonken aan de ontzilting zelf. Hierdoor wordt wel de situatie zoals die is aangetroffen wel verklaard, maar niet de ontstaansgeschiedenis van de verschillende oevervegetatietypen, voorzover deze is gerelateerd aan het zoutregime van de bodem.

Het onderhavige verslag moet gezien worden als een aanvulling op het verslag van Anja Keizer. Voor de beschrijving van het onderzoeksgebied en de doelstellingen, alsook de behandeling van het vegetatiekundig onderzoek wordt verwezen naar dat verslag.

De ontziltingsgeschiedenis van de oeverzone van het boezemmeer in de Lauwerszeepolder wordt in dit verslag behandeld. Dit gebeurt aan de hand van saliniteitsprofielen die zijn gemaakt voor de 14 transecten in representatieve oevertypen, zoals die door Anja Keizer zijn beschreven. Getracht wordt de vorming van de oevervegetatie hiermee in verband te brengen en een algemeen beeld voor de gehele oeverlijn van het boezemmeer te vormen.

## Ontzilting

Ontzilting van een bodem kan op verschillende manieren plaatsvinden. In deze zijn twee hoofdtypen te onderscheiden, verdringing van zout grondwater door zoet grondwater en diffusie van zoutionen uit de bodem naar een met de bodem in contact staand zoet waterlichaam. Verdringing van zout grondwater door zoet water kan in de oeverzone op vier verschillende manieren plaatsvinden.

1. Bij een aanzienlijk hoogteverschil tussen land- en wateroppervlak zakt de bodemwaterspiegel, waardoor regenwater in de grond kan dringen. Naast hoogteverschil speelt bij dit proces ook de afstand tot het open water een rol als snelheidsbepalende factor. Indien de grondwaterspiegel niet of nauwelijks zakt spoelt het regenwater in z'n geheel of gedeeltelijk over de oppervlakte af naar de oever. Het omgekeerde van ontzilting kan dan juist plaatsvinden. Door verdamping van water

uit de grond ontstaat een watertekort in de bovengrond die aangevuld wordt door capillaire opstijging van zout grondwater. Dit heeft een verzilting van de bouwvoor tot gevolg.

2. Wanneer het hoogteverschil tussen land- en wateroppervlak vrijwel nihil is vindt regelmatig inundatie plaats. Wanneer het achterland van de oever bovendien over grote afstand vlak is en eventueel door een (geringe) oeverwal is gescheiden van het boezemmeer, kan inundatiewater, maar ook regenwater, lange tijd blijven liggen als het boezempeil daalt. Hierdoor kan ook indringing van zoet water in de bodem plaatsvinden.

3. Als gevolg van de beschreven capillaire opstijging van grondwater dringt boezemwater in de oever om het grondwater weer aan te vullen. Hierdoor wordt het zoute grondwater in de oever verdrongen door zoet boezemwater.

4. Watertekorten in de grond kunnen ook ontstaan door opzuiging via plantenwortels. In het achterland heeft dit hetzelfde gevolg als verdamping, maar in de oeverzone kan dit bijzondere gevolgen hebben. Het grondwater kan hier direct worden aangevuld uit het boezemmeer. Hierdoor ontstaat een 'zoetwaterbel' in de oeverzone. N.B. Zo'n zoetwaterbel kan gemakkelijk verward worden met een zoetwaterbel die is ontstaan door indringing van regenwater in de oever.

Bij al deze vormen van verdringing van zout grondwater door zoet water geldt dat de snelheid afhankelijk is van de bodemstructuur. Er bestaat een omgekeerd verband tussen het lutumgehalte en de doorlatendheid van de bodem. Dientengevolge zal een grof zandige, lutumarme grond sneller ontzilt zijn dan een zavelgrond.

Ontzilt door diffusie treedt alleen op als er op de bodem min of meer continu zoet water staat dat regelmatig ververscht wordt. Dit geldt o.a. voor de gehele bodem van het boezemmeer, d.w.z. de bodem beneden 83 cm beneden NAP.

De diffusiesnelheid van zouten in een bodem is lager dan in een waterlichaam. In verschillende bodemtypen (lutumarm/lutumrijk) is de diffusiesnelheid nagenoeg gelijk; ze is niet afhankelijk van het watergehalte of de grootte van de poriën van de bodem, maar van de lengte van de weg waarlangs de diffusie plaatsvindt. In een bodem is deze weg kronkelig, de lengte is echter in de verschillende bodemtypen nagenoeg gelijk. Van de Molen (1980) geeft voor de diffusiecoëfficiënt van NaCl in water  $D = 1,52 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  en in

bodems  $D = 0,57 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} = 0,018 \text{ m}^2/\text{jaar}$ . Mazure (1940) vond voor de IJsselmeerbodem  $D = 0,44 \text{ cm}^2/\text{etmaal} = 0,016 \text{ m}^2/\text{jaar}$  bij  $10^\circ\text{C}$ . De waarden van Van der Molen gelden waarschijnlijk voor hogere temperatuur.

Volgens Van der Molen is de zoutconcentratie op diepte  $x$  (in meters) en op tijdstip  $t$  (in jaren) te berekenen wanneer op  $t = 0$  de zoutconcentratie plotseling daalt tot 0 met de formule:

$$C_{x,t} = C_o \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^m e^{-m^2} \cdot dm, \text{ waarbij } m = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$$

In het Lauwersmeer zakte op  $t = 0$  de zoutconcentratie niet tot 0, maar tot ca.  $0,5 \text{ g NaCl/l}$ ; de zoutconcentratie vóór  $t = 0$  was in het boezemwater en het bodemwater ca.  $25 \text{ g NaCl/l}$ . De ontzilting van het boezemwater is betrekkelijk snel gegaan en mag als plotseling worden benaderd bij berekeningen van diffusiesnelheden op langere tijdstip.

Voor de bodem van het Lauwersmeer geldt:

$$C_{x,t} = C_a + (C_o - C_a) \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^m e^{-m^2} \cdot dm, \quad m = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$$

waarbij:  $C_o = 25 \text{ g NaCl/l}$   
 $C_a = 0,5 \text{ g NaCl/l}$   
 $t = 10,75 \text{ jaar}$   
 $D = 0,016 \text{ m}^2/\text{jaar}$  (Mazure, 1940)  
 $x$  uitgedrukt in meters

Deze vergelijking werd numeriek opgelost. Een integratiestap-breedte van  $m/25$  bleek smal genoeg voor een benaderingsbetrouwbaarheid van de  $C$ -cijfers tot  $x = 5 \text{ m}$  in  $0,001 \text{ g NaCl/l}$ . In een bodem waar alleen diffusie een rol speelde konden in mei 1980 de volgende  $C$ -cijfers worden gevonden:

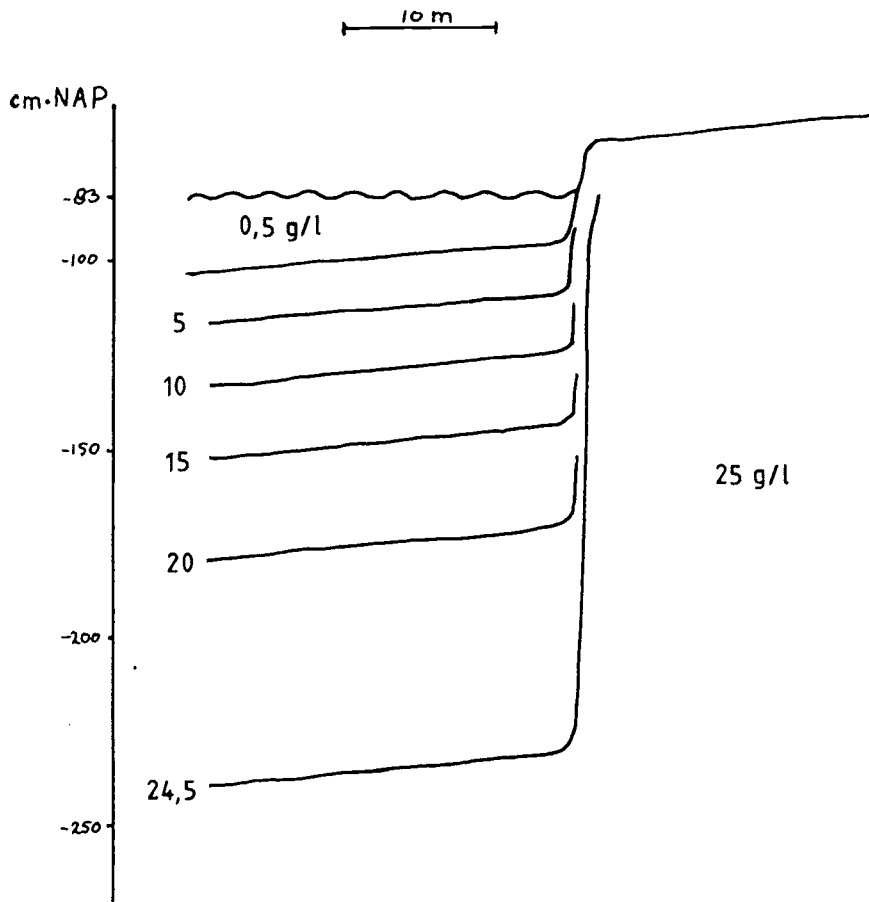
0 - 20 cm : 3,7 g NaCl/l,  
20 - 40 cm : 10,0 g NaCl/l,  
40 - 60 cm : 15,3 g NaCl/l en  
60 - 80 cm : 19,2 g NaCl/l.

De isohaliënen (punten met dezelfde saliniteit) zouden dan liggen:

5 g NaCl/l op 14 cm diepte,  
10 g NaCl/l op 30 cm diepte,  
15 g NaCl/l op 49 cm diepte,  
20 g NaCl/l op 75 cm diepte en meer dan  
24,5 g NaCl/l beneden 136 cm diepte.

in figuur 1. De verhouding tussen de verticale en de horizontale schaal (1:25) is dezelfde als in de figuren van de zoutgradiënten in de transecten (figuren 2 t/m 16) om vergelijking mogelijk te maken. De meeste afwijkingen in het verloop van de isohalienen van de bemonsterde oevers van die van de theoretisch berekende moeten worden toegeschreven aan grondwaterstromingen.

Figuur 1. Berekende diffusie-gradiënt in oeverzone, zie tekst voor nadere uitleg.



## Methode

Op 14 plaatsen, die representatief werden geacht voor de verschillende oevertypen, werden transecten gelegd. Deze transecten besloegen een strook, variërend van 25 tot 150 m. lengte, en hadden een lengte : breedte-verhouding van in principe 5 : 2. De transecten waren loodrecht op de oever gesitueerd. Het hoogteprofiel en de vegetatie werden door Anja Keizer besproken.

Op 2, 12 en 19 mei zijn langs de zijanten van de transecten bodemonsters gestoken op 3 of 4 plaatsen voor, in en achter de oever. Voor de monsters onder water gebeurde dit met een fietspompboor en voor de monsters op het land met een guts. Er werd indien mogelijk steeds een kolom van 80 cm bemonsterd, die in stukken van 20 cm werd verdeeld. Van deze delen werden de volgende waarden bepaald:

- A-cijfer: watergehalte van de grond ; ml H<sub>2</sub>O/100g droge grond
- B-cijfer: zoutgehalte van de grond ; g NaCl/100g droge grond
- C-cijfer: zoutgehalte van het grondwater ; g NaCl/l bodemvocht

Het A-cijfer werd berekend uit het gewichtsverlies wanneer de grond gedroogd werd in een droogstoof. Het B-cijfer en het C-cijfer werden berekend uit de chloriditeit van een bekende hoeveelheid demi-water die met de stoofdroge grond werd uitgeschud en het A-cijfer.

De chloriditeit werd bepaald m.b.v. een Chlor-O-Counter, fabriek Marius. De zoutconcentratie van het boezemwater werd eveneens met de Chlor-O-Counter bepaald.

## Resultaten

De C-cijfers van de monsters zijn gebruikt om onder de hoogteprofielen, zoals die zijn getekend door Anja Keizer, schetsen van de zoutgradiënten te maken. Uit het beeld van deze schetsen kon, tesamen met gegevens over vegetatie, bodemsoort en andere, in de meeste gevallen achterhaald worden hoe de zoutverplaatsingen hebben plaatsgevonden. Voor de typering van de bodem is het A-cijfer belangrijk. De hoogte van het A-cijfer geeft een indicatie over het lutumgehalte. Er bestaat een positief verband tussen het A-cijfer en het lutumgehalte van een bodem. Dit verband wordt echter beïnvloed door allerlei factoren zoals verzadigingstoestand, rijpingstoestand en gehalte aan organisch materiaal. Het B-cijfer is verder niet gebruikt. De vegetatiehoogte, zoals die ook in de profielen is ingetekend, is



de hoogte van de belangrijkste soorten. Deze is geschat volgens Van der Maarel (Fresco, 1980). De lengte en plaats van de door Anja Keizer gegeven transectvegetatiekaarten en hoogteprofielen is steeds in de figuren aangegeven.

#### Transect I.

Door het grote hoogteverschil en door de goede doorlatendheid van de bodem in de oever heeft een snelle uitspoeling plaatsgevonden. Het grondwater kwelde dicht bij de oever aan de oppervlakte. De breedte van de zoete zone was zo gering dat er zich slechts een smalle rietkraag zou kunnen ontwikkelen. Elders, vlak bij dit transect heeft riet de oeverzone gekoloniseerd, maar groeit tot slechts enkele decimeters uit de oever.

De relatief hoge saliniteit van het boezemwater werd niet veroorzaakt door zoutwaterkwel uit de oever, maar door menging met zout water uit de Marnewaard dat hier vlak bij in het boezemmeer werd gepompt.

#### Transect II.

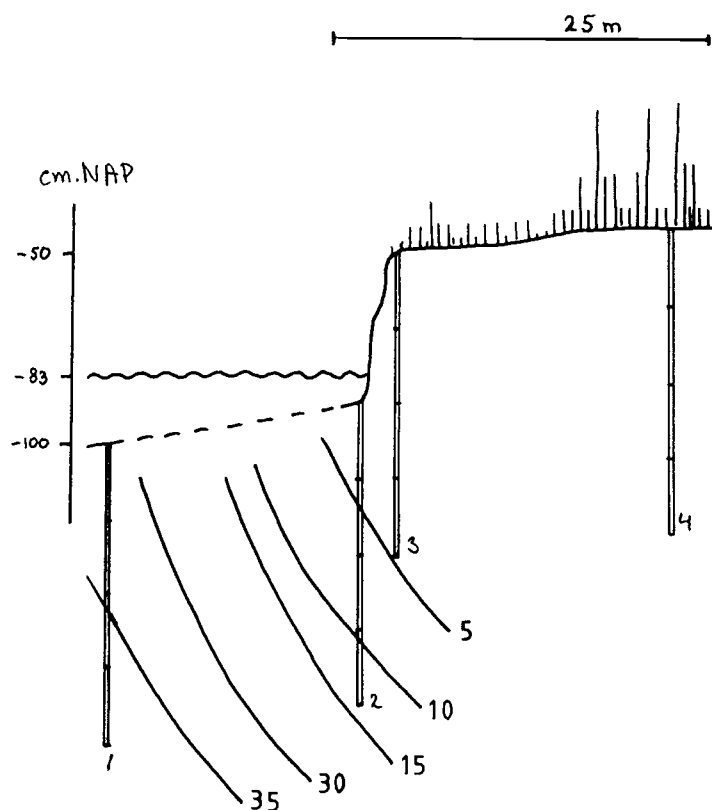
Dit is een transect in een oever die nauwelijks als vaste plaats in het veld is aan te geven. De land-water grens is zeer geleidelijk door een gering hoogteverschil in een uitgestrekte vlakte.

Volgens de bodemkaart bestaat de grond uit lutumhoudend, grof zand. De A-cijfers zijn gemiddeld tussen 25 en 30, een uitschieter vormt de laag tussen 20 en 40 cm in kolom 3.

De extreem hoge zoutgehaltenes van de plaat waar een lichte zoutplantenvegetatie op groeit, wordt geheel verklaard door zoute kwel vanuit De Rug. Deze kwel werd aangetoond door middel van zoutraaien door Van Dijk (1978). Opwaarts transport van zout grondwater vond plaats in het begroeide deel van het transect. Met behulp van de zoutprofiel-schets is echter moeilijk te bewijzen dat dit ook het geval is voor het onbegroeide deel beneden NAP - 83 cm. Er zijn twee mogelijke oorzaken aan te wijzen voor de gradiënt in het zoutgehalte in deze bodem. Door diffusie kan het zout zijn verdwenen of voor penetratie van zoet boezemwater in de bodem is het zoute water verdrongen.

Voor diffusie alleen is de gradiënt te stijl. De zoute kwel oefent een druk uit op het grondwater, maar het is ook onwaarschijnlijk dat alleen deze twee processen de zoutgradiënt bepalen. Dit zou namelijk betekenen dat in de 11 jaren na de indijking van de Lauwerszee het grondwater in deze goed doorlatende grond slechts ca. 1 m is gestegen. Vgl. figuur 1 en de getallen op pg. 3.

Figuur 2. Transect I.

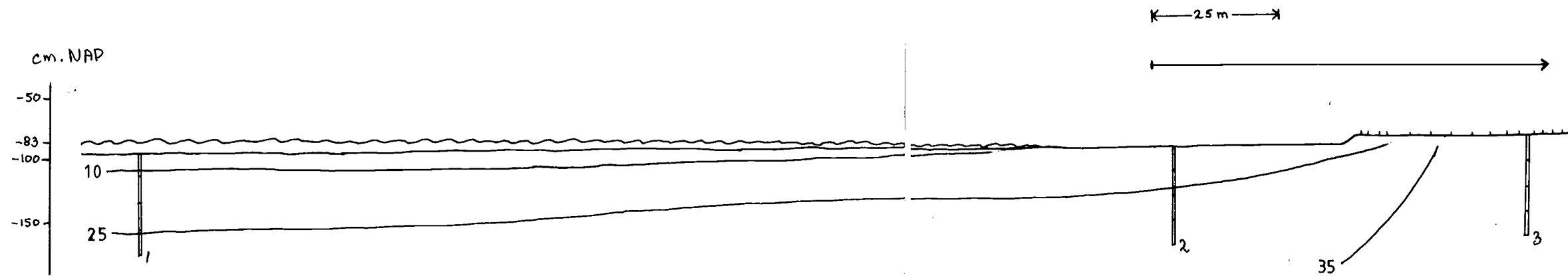


Tabel 1. A- en C-cijfers van transect I.

kolom:	1		2		3		4	
diepte	A	C	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	21	34,8	21	3,5	22	0	22	0,3
20 - 40 cm	26	36,3	27	6,7	21	0,2	20	0,3
40 - 60 cm	23	35,8	24	7,9	22	0,5	20	0,5
60 - 80 cm	20	34,6	21	23,3	24	1,2	24	0,8

boezemwater: 1,88 g NaCl/l

Figuur 3. Transect II.



Tabel 2. A- en C-cijfers van transect II.

kolom:	1		2		3	
	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	25	10,3	25	23,5	24	43,5
20 - 40 cm	23	18,2	27	26,4	39	39,6
40 - 60 cm	27	24,7	29	27,0	31	37,2
60 - 80 cm	30	24,8	30	26,9	28	37,7

boezemwater: 0,71 g NaCl/l

Voor de tweede verklaring zijn aanwijzingen te vinden in de A- en C-cijfers in bodemonsterkolom 3. Het A-cijfer van de bovenste laag is lager, en het C-cijfer was hoger dan verwacht op grond van de andere A- en C-cijfers. Dit duidt op een verdampingsoverschot in het achterland, waardoor boezemwaterpenetratie wordt geïnduceerd.

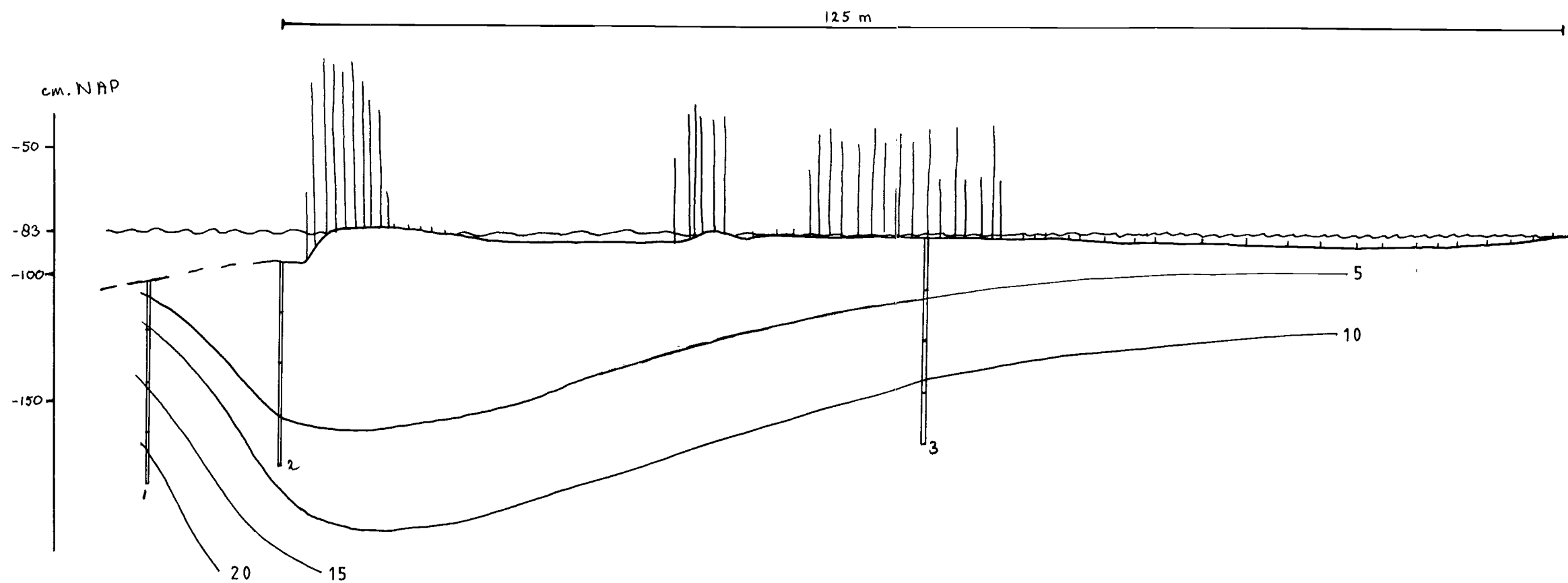
### Transect III.

Het achterland van de oever waarin transect III is getrokken stijgt de eerste paar honderd meters niet of nauwelijks. Ontzilting is er niet of nauwelijks opgetreden. Tussen 150 en 300 m van de oever groeide een zoutplantenvegetatie met *Salicornia* als dominante soort. Deze strook ligt één to twee decimeters hoger dan het oevertransect zelf en wordt daardoor minder vaak geïnundeerd. Getuige de vegetatie was de zoutgradiënt er waarschijnlijk stijler dan in het transect door een structureel verdampingsoverschot.

Het gebied in het transect staat een deel van het jaar periodiek onder water. Ontzilting van het verst van de oever gelegen deel is waarschijnlijk hieraan te danken en is ogenschijnlijk grotendeels door diffusie gebeurd. In de oever zelf heeft ontzilting veel dieper plaatsgevonden. Twee mogelijke oorzaken zijn hiervoor aan te wijzen. Het riet zou door veel water aan te zuigen via de wortels penetratie door zoet boezemwater in de bodem hebben kunnen geïnduceerd. Enerzijds lijkt dit verschijnsel onwaarschijnlijk. Immers, het riet zou een opwaartse grondwaterstroming veroorzaken, waardoor eerder een verzilting dan een ontzilting zou optreden. Met een stijle zoutgradiënt in de geul, vlak voor de rietvegetatie zou ook elke horizontale grondwaterstroming verzilting tot gevolg hebben. Toch is de ontzilting op deze wijze niet ondenkbeeldig. Goede aanwijzingen hiervoor worden gegeven door de vergelijking van transect IV met transect IX.

Een tweede verklaring is dat de ontzilting door inundatiewater is bewerkstelligd. Bij wisselende waterstanden rond NAP - 83 cm zal de transectvlakte regelmatig overspoeld zijn geweest door boezemwater. Wanneer het peil weer daalde, stroomde dit inundatiewater niet volledig weer weg door het ontbreken van enige helling. Het achterblijvende water zal gedeeltelijk verdampt en gedeeltelijk in de grond zijn gezakt. Dit resulteerde dus in een geringe overwegend neerwaartse grondwaterstroming in de bovenste decimeters. Dit zoete

Figuur 4. Transect III.



Tabel 3. A- en C-cijfers van transect III.

kolom:	1		2		3	
	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	34	5,4	31	1,4	33	3,2
20 - 40 cm	34	11,9	37	1,8	34	5,7
40 - 60 cm	73	15,8	36	2,9	49	9,3
60 - 80 cm	53	19,5	44	7,0	33	12,5

boezemwater: 0,57 g NaCl/l

water stroomde ondiep af over de zwaardere zoutwaterlaag. Ondiepe afstroming werd nog extra in de hand gewerkt door de gelaagdheid van de bodem: getuige de A-cijfers neemt het lutumgehalte toe met de diepte. De hoeveelheid ingedrongen inundatiewater werd steeds groter in de richting van de oever, omdat het aanbod steeds groter werd. Het resultaat hiervan was een geleidelijk diepere ontzilting naar de oever toe. In het ondiepe litoraal voor de oever kwelde het water naar de oppervlakte.

#### Transect IV.

Het lage achterland van dit transect strekt zich evenals van transect III uit over een grote afstand. Door het geringe waterbergend vermogen heerst in dit achterland een groot verdampingsoverschot. De zoutgradiënt liep hier veel stijler dan in de oever en de vegetatie werd gedomineerd door *Salicornia*.

Door het watertekort in het achterland vond penetratie van zoet boezemwater plaats in de oeverzone. Het sterkst was deze penetratie op de scheiding van water en land, waardoor zich hier een dicht helofytenvegetatie kon ontwikkelen.

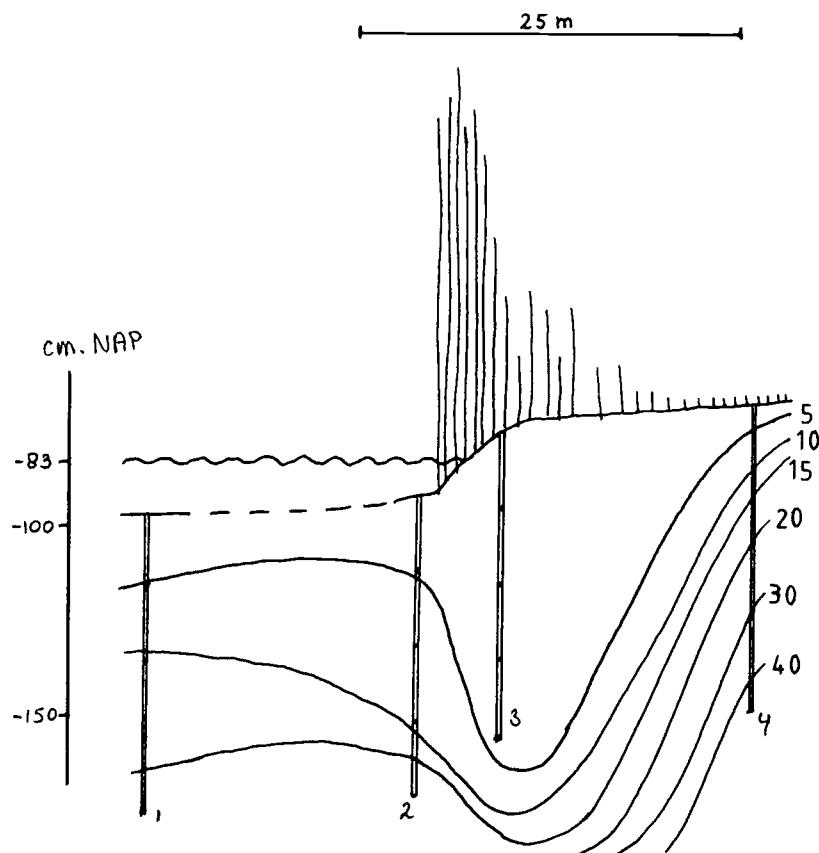
De helofyten versnelden dit proces door aanzuiging van water door de wortels. Het boezemwater drong voornamelijk in de voorste decimeters van de helofytenkraag in de bodem. Dit komt doordat hier in de bodem wortelgangen voorkwamen die het water goed geleidden. De wortels namen door steeds dieper te gaan steeds kleine hoeveelheden zout water op, waardoor de ontzilting steeds dieper werd. Vergelijk ook transect IX.

#### Transect VI.

Door de betrekkelijk sterke helling van de oever, tesamen met de goede doorlatendheid van de grond, is hier een snelle afvoer van grondwater uit het achterland naar de oever mogelijk. De ontzilting heeft hier dan ook snel kunnen plaatsvinden. Een aantal bevindingen wijzen er echter op dat het grondwater aan de oppervlakte kwam, nog voor het de oeverzone had bereikt. Direct achter de helofytenkraag was een zone met een ijle vegetatie van zoutplanten. Hoewel hier geen bodemmonsters zijn genomen, moeten we aannemen dat de bodem hier extreem zout was.

De reden waarom het water niet lager, met name beneden de waterspiegel

Figuur 5. Transect IV.

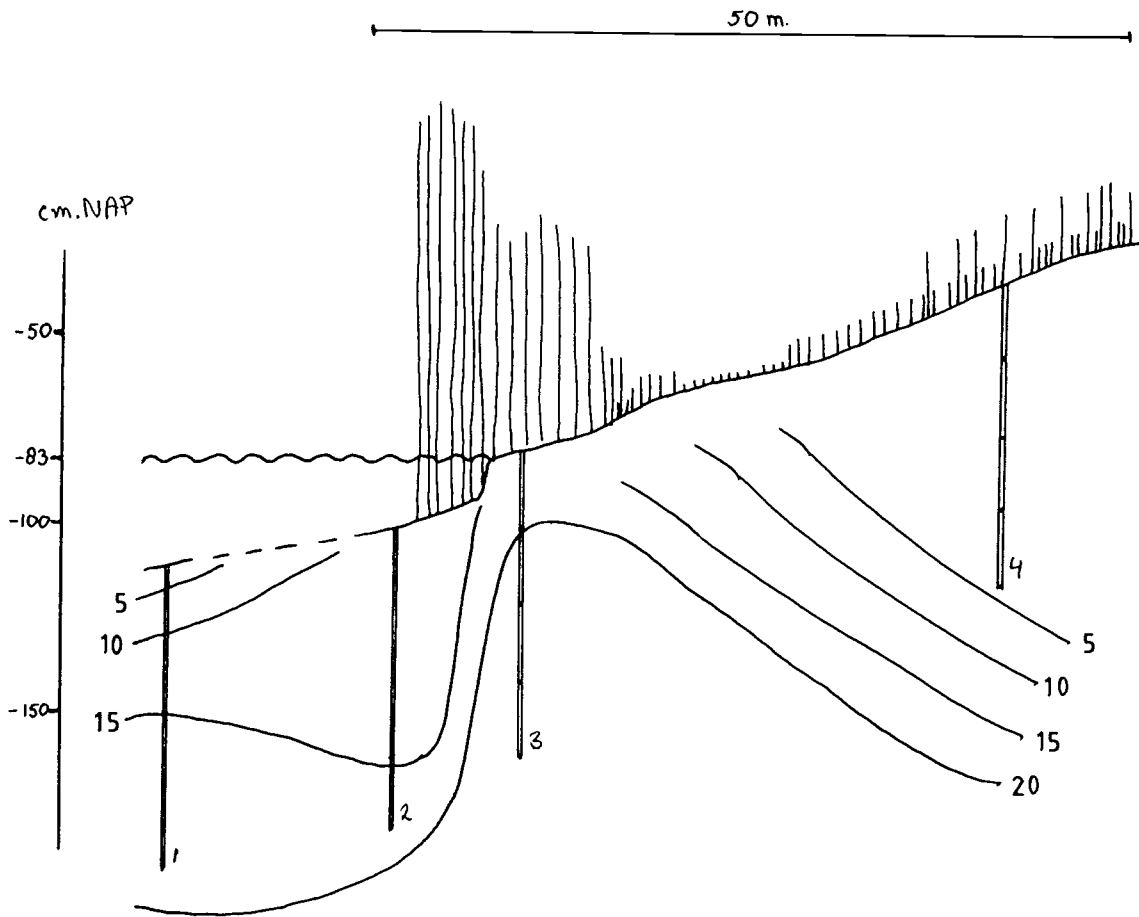


Tabel 4. A- en C-cijfers van transect IV.

kolom:	1		2		3		4	
	A	C	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	27	3,5	28	2,2	30	0,8	27	10,4
20 - 40 cm	28	7,7	30	9,1	28	0,4	26	20,8
40 - 60 cm	30	11,4	31	7,6	29	0,9	29	32,1
60 - 80 cm	30	14,9	31	16,5	30	2,3	29	40,7

boezemwater: 0,61 g NaCl/l

Figuur 6. Transect VI



Tabel 5. A- en C-cijfers van transect VI.

kolom:	1		2		3		4	
	A	C	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	33	8,2	25	12,8	37	19,4	29	0,6
20 - 40 cm	39	13,9	29	13,7	32	21,5	30	0,2
40 - 60 cm	43	16,3	52	12,9	34	21,6	29	0,2
60 - 80 cm	42	18,5	29	18,1	32	21,4	30	0,2

boezemwater: 0,57 g NaCl/l



opwelde is waarschijnlijk gelegen in verschillende omstandigheden. De bodemonsters in de helofytenkraag hadden een hoger A-cijfer dan in het achterland en in de monsters voor de oever kwamen nog hogere A-cijfers voor. Dit wijst op een lutumrijkere bodem in de oeverzone, waardoor de grondwaterstroming stagneert. Er moet in dit kader gewezen worden op de bijkomstigheid dat het grote hoogteverschil geen natuurlijke oorzaak heeft. Zowel op de luchtfoto als in het veld zijn diverse aanwijzingen te vinden dat op deze plaats zand is gedeponeed op kunstmatige wijze.

Toen zich een brede helofytenkraag had ontwikkeld kwam daar ook nog een verhoging van de saliniteit in de oeverzone bij door een opwaartse grondwaterstroming, geïnduceerd door het opzuigen van water door de wortels van de helofyten. Door de druk van het kwelwater werd kennelijk geen penetratie van zoet boezemwater in de oeverzone, zoals in transect IV, toegestaan. Het zoetere en daarom lichtere kwelwater stroomde hierdoor nog gemakkelijker achter de oeverzone aan de oppervlakte. Riet kon zich door een lagere zouttolerantie nauwelijks in de oeverzone handhaven. Alleen voor de oever, in het water, stond riet, grotendeels pas aangeplant.

#### Transect VII.

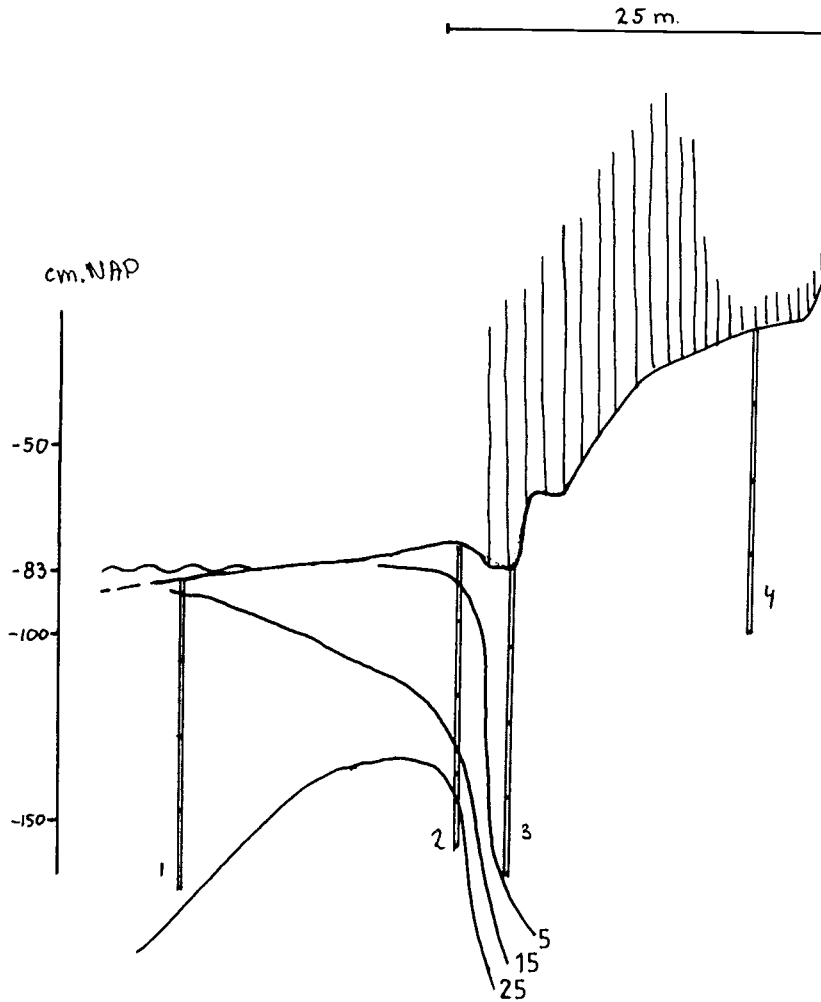
Door het grote hoogteverschil in de oever heeft een snelle ontzilting door uitspoeling plaatsgevonden. Het grondwater kwelde in de oeverzone, nog boven NAP - 83 cm aan de oppervlakte. Dit resulteerde in een grens in de oevervegetatie, het riet groeide tot aan de kwelzone. De 'hobbel' in de 25 g/l - isochalinen werd waarschijnlijk veroorzaakt door voortstuwing van dieper gelegen zout grondwater door zoet percolatiewater.

Evenals in transect VI heeft het hoogteverschil hier geen natuurlijke oorzaak, maar het opgebrachte zand heeft ongeveer hetzelfde A-cijfer als het zand in de ondergrond. Dit is een aanwijzing dat het lutumgehalte ook hetzelfde is. Hierdoor treedt ook nauwelijks stagnatie op zoals in transect VI.

#### Transect VIII.

Door het grote hoogteverschil in de oever heeft ook hier een snelle uitspoeling van het zout plaatsgevonden. Het grondwater kwelde juist voor de oever naar de oppervlakte, getuige de scherpe

Figuur 7. Transect VII.

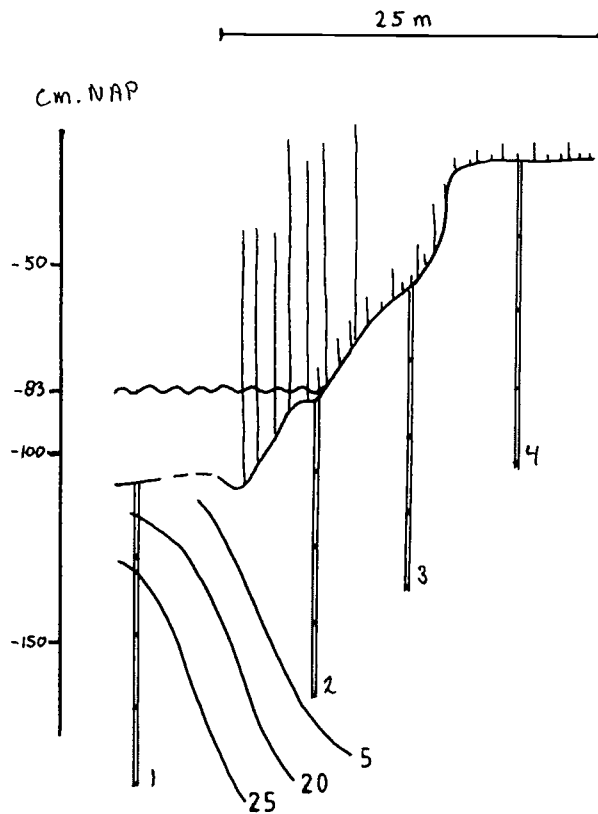


Tabel 6. A- en C-cijfers van transect VII.

kolom:	1		2		3		4	
	A	C	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	27	17,1	29	6,5	29	0,7	21	0,2
20 - 40 cm	28	23,2	33	10,5	32	2,4	25	0
40 - 60 cm	28	23,8	30	16,8	32	1,2	27	0
60 - 80 cm	45	23,5	32	26,2	30	2,6	29	0,4

boezemwater: 0,54 g NaCl/l

Figuur 8. Transect VIII.



Tabel 7. A- en C-cijfers van transect VIII.

kolom:	1		2		3		4	
diepte	A	C	A	C	A	C	A	C
00 - 20 cm	24	19,5	25	0,3	24	0	24	0
20 - 40 cm	28	27,4	25	0,2	25	0,2	22	0
40 - 60 cm	29	27,8	27	0,3	26	0,2	25	0,2
60 - 80 cm	32	27,2	25	0,5	28	0,3	24	0,2

kolom:	2'	
diepte	A	C
0 - 20 cm	24	0,5
20 - 40 cm	26	1,2
40 - 60 cm	26	1,6
60 - 80 cm	26	2,9

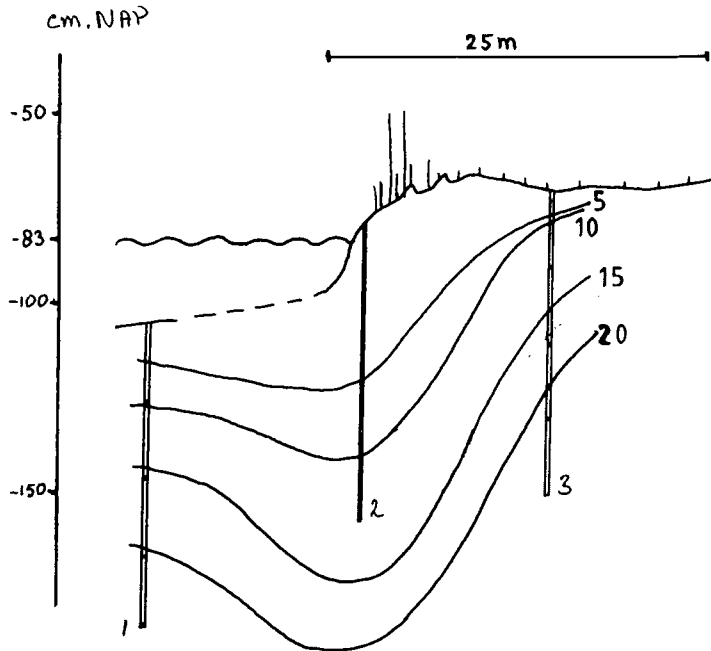
boezemwater: 0,59 g NaCl/l

horizontale zoutgradiënt in het litoraal. Het riet groeide juist tot aan deze kwelzone. Dertig meter oostelijk van dit zoutprofiel ontbrak plotseling de rietkraag. Op deze plaats is op dezelfde hoogte t.o.v. NAP als in de rietzone op het profiel een bodemonmonster genomen (kolom 2'). De zoutgehaltenes waren hier hoger, echter niet zo hoog dat riet hier niet zou kunnen groeien. Het is echter mogelijk dat dit de sporen zijn van een recente verschuiving van de kwelzone op deze plaats. Dergelijke verschuivingen traden enkele jaren geleden ook op in de westelijke oever van De Rug, waardoor massale rietsterfte optrad (pers. comm. A. Koridon, 1980). Vergelijk ook transect XI.

#### Transect IX.

Aan de isohaliënen is te zien dat in deze oever betrekkelijk weinig grondwaterstromingen hebben plaatsgevonden. Ontziltiging heeft grotendeels door diffusie plaats gevonden. Door de geringe hoogteverschillen vond er geen ontziltiging plaats door uitspoeling. 's Zomers vond penetratie van zoet boezemwater in de oever plaats ter aanvulling van het watertekort in het achterland. De ontziltiging in de oeverzone was echter lang niet zo diep als in transect IV. Voor en achter de oeverzone zijn de zoutgradiënten van beide transecten nagenoeg gelijk. Doordat het achterland van beide transecten ongeveer gelijks zal het verdampingsoverschot niet veel verschillen. Omdat ook het lutumgehalte van de bodem ongeveer hetzelfde is, kon er een ongeveer evensterke boezemwaterpenetratie verwacht worden. De enige aanwijsbare oorzaak van de geringe ontziltingsdiepte is het gebrek aan oevervegetatie. De hoeveelheid door de wortels opgenomen water was hier veel geringer dan in transect IV. Er zal daarom niet veel meer water in de oever gedrongen zijn dan nodig was ter compensatie van het verdampingsoverschot. De reden waarom in transect IV wel en hier niet een dichte helofyten vegetatie is ontwikkeld ligt niet in een verschil in aanplantbeleid van de RIJP: op geen van de beide oevers zijn helofyten aangeplant. Hoewel beide oevers in dezelfde expositieklasse t.a.v. golfslag liggen (verslag Anja Keizer, kaart 5), kan toch een (klein) verschil in expositie het verschil in vegetatie verklaren. Een aanwijzing voor dit verschil in expositie is het oeverwallepje dat hier wel, maar niet in transect IV werd gevonden. Een oeverwal wijst op

Figuur 9. Transect IX.



Tabel 8. A- en C-cijfers van transect IX.

kolom:	1		2		3	
	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	27	5,0	35	2,5	25	10,7
20 - 40 cm	29	12,2	32	3,5	36	14,4
40 - 60 cm	29	17,5	28	9,3	28	22,9
60 - 80 cm	29	24,4	28	11,2	26	32,9

boezemwater: 0,58 g NaCl/l

instabiliteit van de oeverlijk, waardoor jonge planten gemakkelijk weggeslagen worden door golven. Zie ook transect XI.

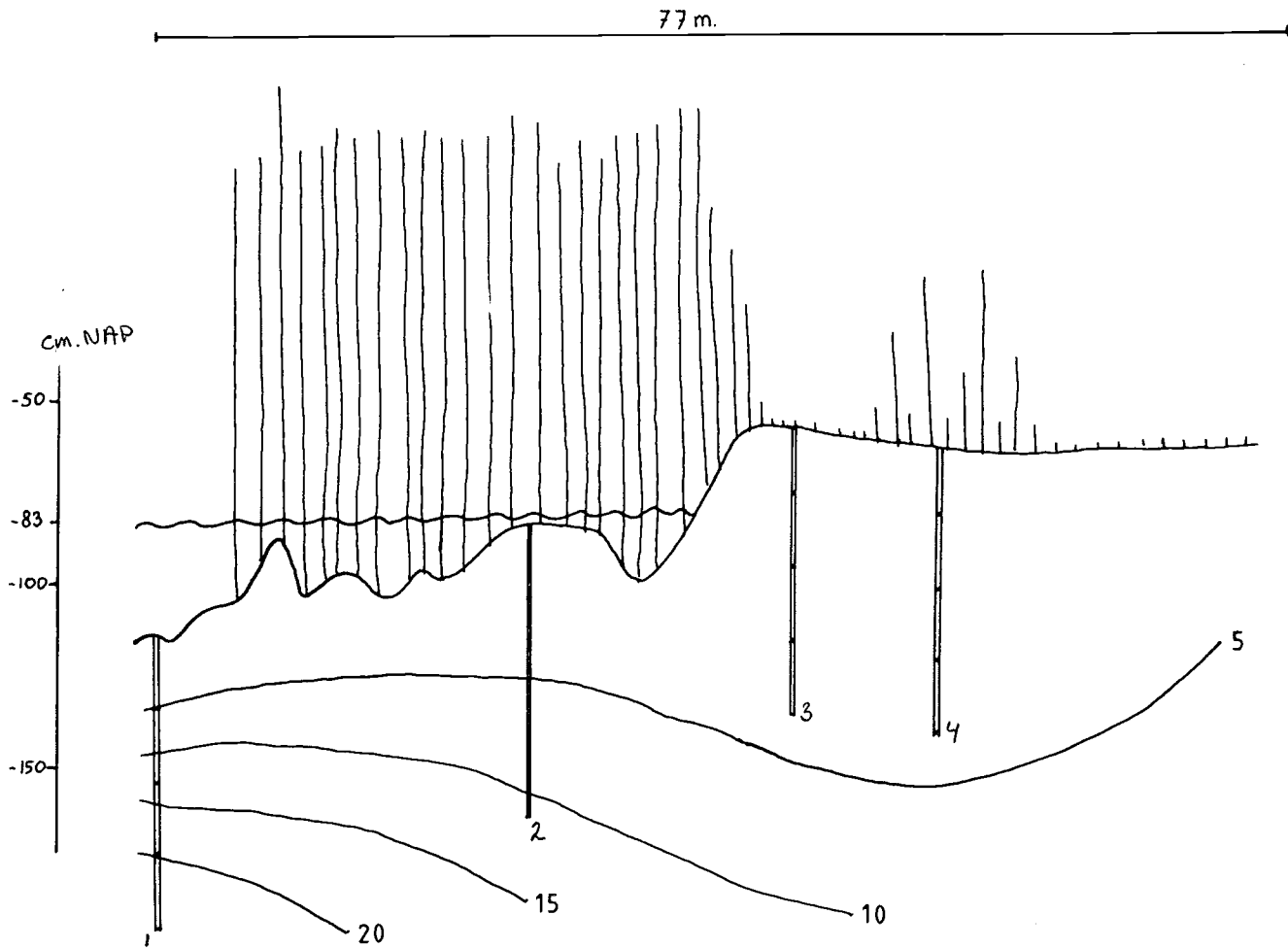
#### Transect XI

Dit transect ligt in de oever van een betrekkelijk grote zandkop, De Rug, met uiterst grof zand, dat daardoor zeer goed doorlatend is voor grondwater. De grondwaterstroming is tot Achter de Zwartens merkbaar (v. Dijk, 1978; transect II). Ook onder dit transect wordt een grondwaterstroming verondersteld. De oeverwal, die ruderaal is begroeid geraakt, is opgeworpen met schelpen en heeft daardoor een nog betere doorlatendheid gekregen. Ontziltling heeft hierin tot zeker een meter diepte plaatsgevonden. De plaats waar het grondwater aan de oppervlakte trad was verschillend per plaats. In transect XI-A was dit zeker 40 m voor de oever, in het transect XI-B, ca. 30 m zuidelijker, was dit op ca. 20 m voor de oever. Het grote verschil tussen beide transecten is de begroeiing. In transect XI-A stond een dichte rietkraag, in transect XI-B niet. De oorzaak van dit verschil moet echter worden gezocht in de beschoeiing. Achter alle stukjes beschoeiing voor De Rug groeide riet en op de onbeschermden plaatsen was het kaal. De beschoeiing is er geplaatst nadat de oeverwal werd opgeworpen, maar voordat het riet aansloeg. Enkele jaren voor de inventarisatie is voor De Rug op de onbeschermden plaatsen het riet massaal gestorven, terwijl ook het riet op de door palenrijen beschermde plaatsen zwaar had te lijden. Dit verschijnsel werd verklaard door een plotselinge zout grondwaterkwel op de plaats van de rietkraag (A. Koridon, pers. comm., 1980).

De diepere ontziltling voor de oever waar nu nog riet stond is mogelijk ook een afspiegeling van de situatie tijdens die rietsterfte. Het beschutte riet kreeg veel meer kans om op te groeien dan het onbeschutte riet. Hierdoor kon een groter wortelstelsel ontstaan en een diepere ontziltling plaatsvinden door penetratie van boezemwater in de bodem ter compensatie van het door de wortels opgenomen water. De beschoeiing is er dan indirect de oorzaak van dat het riet niet afstierf, toen de kwelzone zich verplaatste.

Naar de reden voor de verplaatsing van de kwelzone kan alleen gested worden. Mogelijk had een lange droogteperiode een verziltling van de bodem tot gevolg gehad d.m.v. capillaire opstijging van zout grondwater. Bij een daaropvolgende periode met veel neerslag zou het zoute

Figuur 10. Transect XI-A.

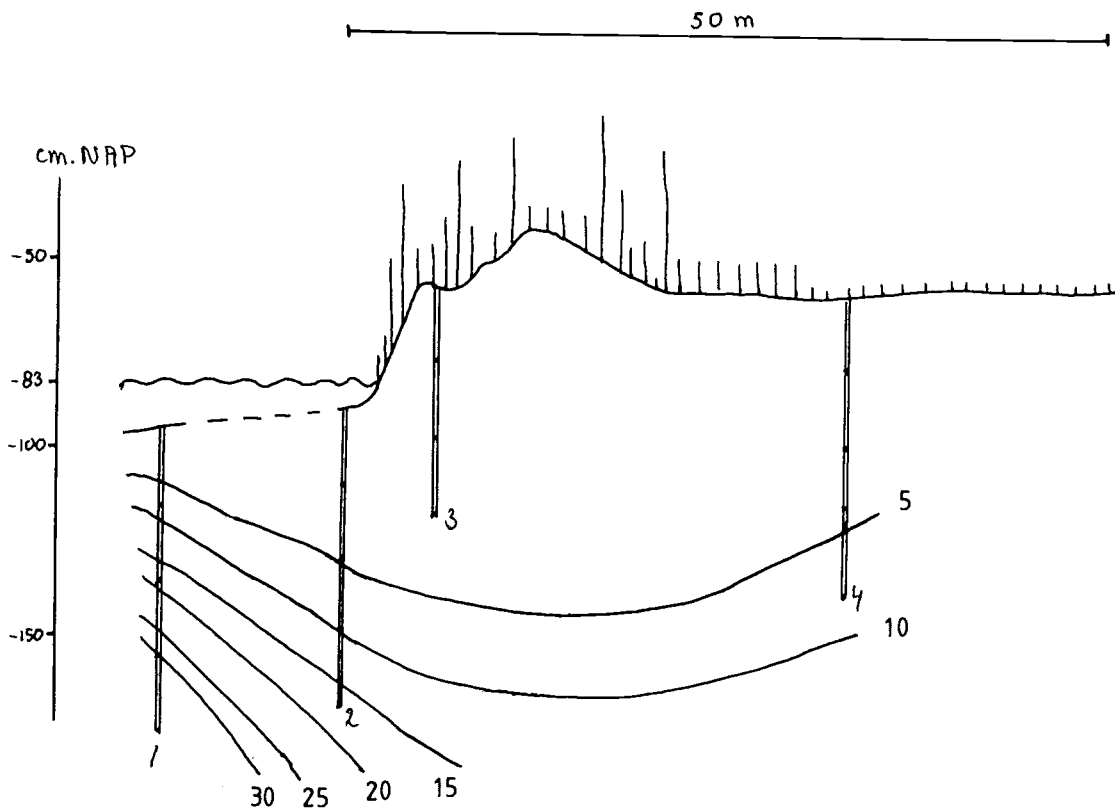


Tabel 9. A- en C-cijfers van transect XI-A.

kolom:	1		2		3		4	
	A	C	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	22	3,1	23	0,8	23	0,3	23	0,1
20 - 40 cm	23	10,2	26	2,8	26	0,3	24	0,5
40 - 60 cm	24	16,1	27	5,5	25	0,6	25	0,5
60 - 80 cm	24	25,9	24	10,4	27	0,5	31	0,8

boezemwater: 0,83 g NaCl/l

Figuur 11. Transect XI-B.



Tabel 10. A- en C-cijfers van transect XI-B.

kolom:	1		2		3		4	
	A	C	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	24	3,9	25	2,2	27	0,2	22	1,2
20 - 40 cm	27	11,9	27	2,7	25	0,4	26	2,2
40 - 60 cm	28	26,3	27	5,6	26	0,4	26	4,2
60 - 80 cm	28	31,3	25	16,7			29	7,6

boezemwater: 0,83 g NaCl/l



grondwater mogelijk oppervlakkiger weggevoerd kunnen zijn dan anders het geval was geweest.

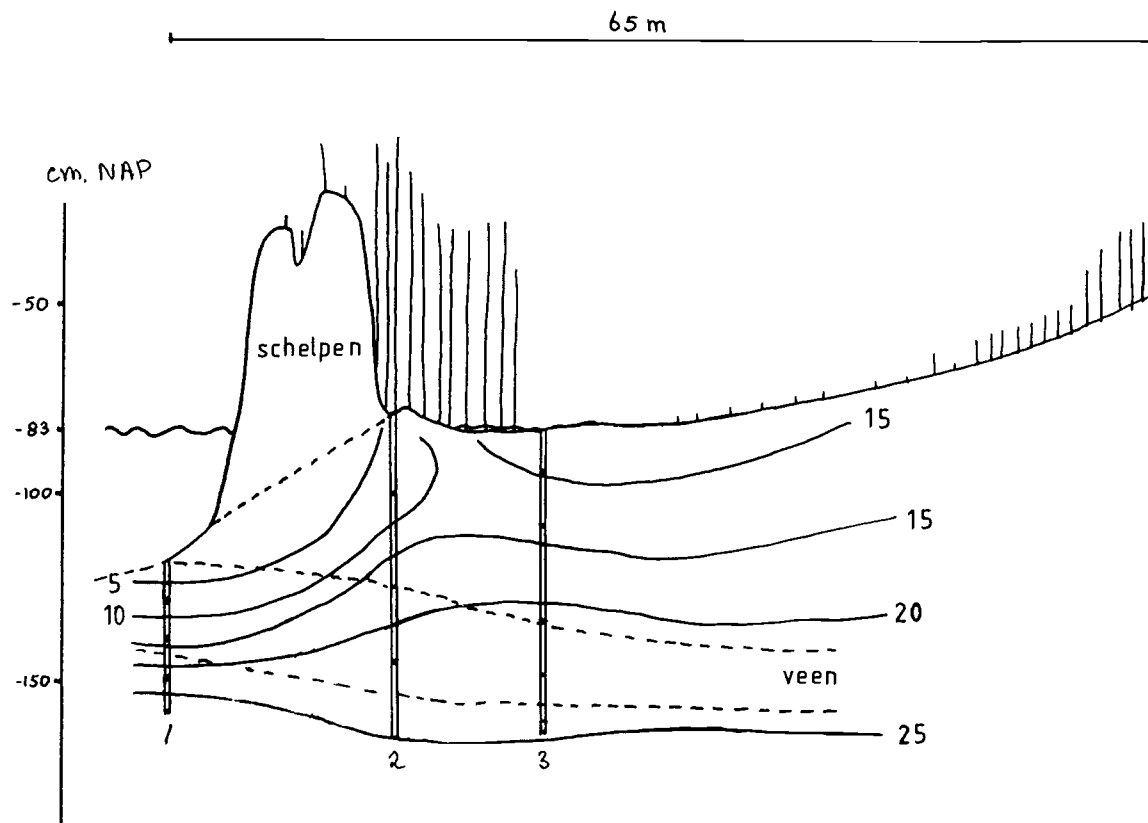
#### Transect XII.

Door het geringe hoogteverschil tussen het achterland en het boezemwaterpeil, en door de ondoorlatendheid van de zavel, hebben in dit transect nauwelijks grondwaterverplaatsingen plaatsgevonden. De veenlaag is waarschijnlijk geheel ingesloten in de zavel, waardoor het grondwater hierin zich niet afwijkend gedraagt. Zou dit wel het geval zijn, dan zou er een verstoring in de zoutgradiënt moeten zijn gevonden. Ontziltling heeft tot nu toe grotendeels plaatsgevonden door diffusie. Op de strook achter de schelpenwal stond vaak water, waarschijnlijk door afstromend regenwater. Een deel van dit water verdampte 's zomers getuige de verhoogde saliniteit in de top laag van de bodem. Deze liep zelfs zo hoog op in de bovenste centimeters, dat uitkristallisatie van zout en gips (W. Joenje, pers. comm., 1980) plaatsvond. Hierdoor heeft zich in de smalle strook waar het bodemonmonster is genomen zelfs geen zoutplantenvegetatie kunnen ontwikkelen.

#### Transect XIII.

In tegenstelling tot het vorige, heeft in dit transect wel ontziltling plaatsgevonden door grondwaterstroming. De hoogte achter de schelpenwal droeg een ruderaal vegetatie en was goed doorworteld. Dit verhoogde de doorlatendheid en het waterbergend vermogen. Het water is door de schelpenwal en er onder langs gestroomd naar het meer. Ontziltling in de litoraalbodem op deze plaats is uiterst traag. De kleisoort in de bovenste lagen is vrij zwaar, maar heeft toch voor klei of zavel een laag A-cijfer. Dit komt doordat deze klei sterk ingeklonken is, waarschijnlijk doordat ze in een vroegere periode enige tijd aan de oppervlakte heeft gelegen en daardoor een zekere vorm van rijping heeft ondergaan. Het resultaat van dit inklinken is een minimale doorlatendheid. Diffusie is door een andere stapeling van de bodemdeeltjes mogelijk trager dan normaal. De stijlere gradiënt dan in figuur 1 wordt echter waarschijnlijk veroorzaakt door de langzame landinwaartse verplaatsing van de schelpenwal (Slager, pers. meded., 1980). Evenals in transect XII is de bodem daardoor korter dan 11 jaar in contact geweest met het zoete water.

Figuur 12. Transect XII.



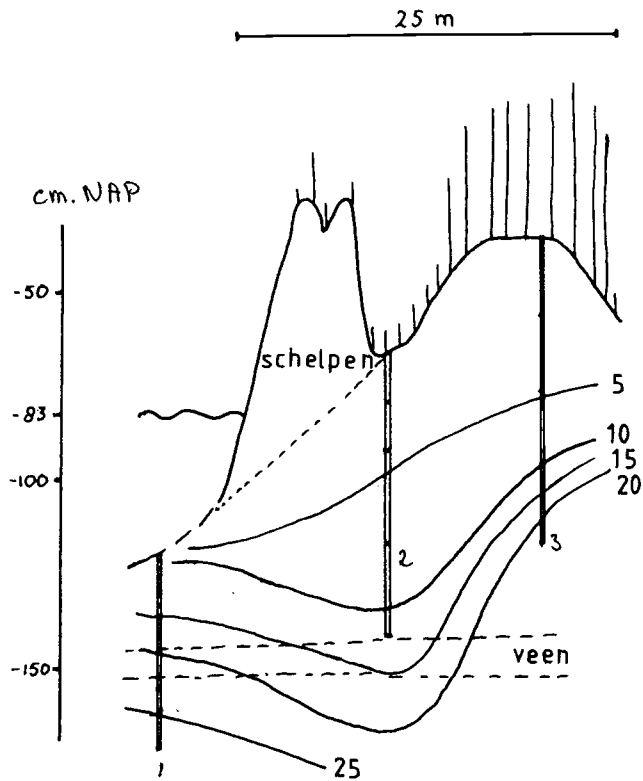
Tabel 11. A- en C-cijfers van transect XII.

kolom:	1		2		
diepte	A	C	diepte	A	C
0 - 10 cm	103	5,5	0 - 20 cm	45	6,8
10 - 20 cm	208	10,8	20 - 45 cm	68	14,6
20 - 30 cm	130	19,0	45 - 65 cm	195	21,4
30 - 40 cm	88	25,1	65 - 85 cm	141	23,9

kolom:	3	
diepte	A	C
0 - 12,5 cm	29	18,1
12,5 - 25 cm	34	12,6
25 - 50 cm	67	16,6
50 - 65 cm	212	22,2
65 - 80 cm	132	24,1

boezemwater: 0,52 g NaCl/l

Figuur 13. Transect XIII.



Tabel 12. A- en C-cijfers van transect XIII.

kolom:	1		2		
diepte	A	C	diepte	A	C
0 - 10 cm	37	10,7	0 - 12,5 cm	64	2,3
10 - 20 cm	36	14,3	12,5 - 25 cm	38	2,6
20 - 35 cm	59	20,4	25 - 50 cm	34	5,8
35 - 50 cm	65	24,6	50 - 75 cm	47	10,5

kolom:	3	
diepte	A	C
0 - 20 cm	21	2,3
20 - 40 cm	73	2,7
40 - 60 cm	37	7,4
60 - 80 cm	33	20,5

boezemwater: 0,52 g NaCl/l

De veenlaag verstoord mogelijk de zoutgradiënt zoals die is geschetst, maar waarschijnlijk is dit niet. Ze sluit aan op de veenlaag in transect XII op 50 m afstand, en deze laatste verstoort de gradiënt ook niet.

#### Transect XIV.

Dit profiel geeft een duidelijk voorbeeld van ontzilting door diffusie. Grondwaterstromingen waren afwezig in de oever omdat de doorlatendheid van de grond laag is door z'n hoog lutumgehalte. Bovendien zijn er nauwelijks hoogteverschillen.

In het achterland was een licht opwaartse stroming: de zoutgehaltenes werden hoger naar de oppervlakte toe.

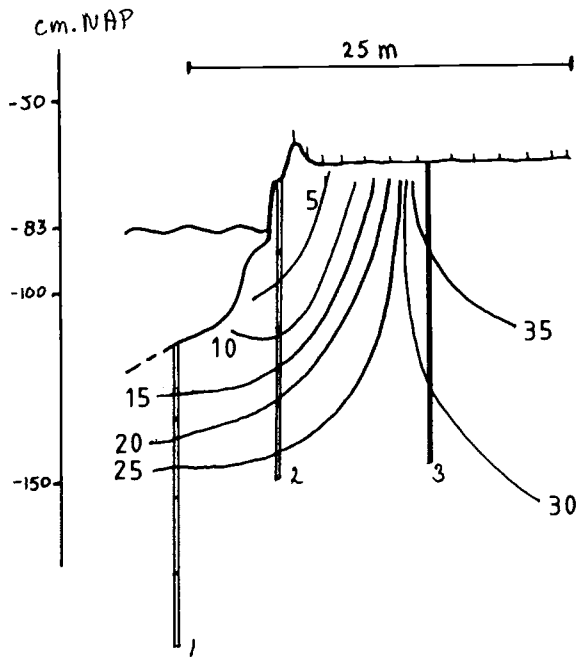
De zoutgradiënt in de oever was veel stijler dan in het vergelijkbare transect XV; dit komt doordat de ontzilting veel minder tijd heeft gehad. De oever kalfde ieder jaar verder af (tot enkele meters per jaar, R.W.S., pers.comm., 1980), waardoor de gevonden situatie jong te noemen is.

#### Transect XV.

Deze oever kent evenals in transect XIV nauwelijks grondwaterstroming, maar is veel stabielier. Ontzilting heeft plaatsgevonden door diffusie, er heeft zich een zoutgradiënt kunnen ontwikkelen die veel minder stijl is dan in transect XIV. De verdamping van water in het achterland is niet groter dan de indringing van regenwater. De vegetatie heeft de bovenste decimeters goed doorworteld, waardoor het regenwater goed opgenomen wordt.

Ter vergelijking zijn op en vlak voor de oever ook bodemonsters genomen in de andere vegetatietypen in dit transect. Kolom 3 was gestoken in een door zeebies gedomineerde vegetatie. Kolom 3' is gestoken in een door riet gedomineerde vegetatie. Kolom 3" is gestoken in een vegetatie zonder helofyten; de dominerende soorten waren fioringras en kweldergras. De verschillen bleken niet erg groot te zijn waaruit geconcludeerd moet worden dat de begroeiingsverschillen een historische achtergrond hadden, en geen (aanwijsbare) oorzaak hadden in de bodemverschillen. Deze conclusie wordt ondersteunt door het kloonvormige uiterlijk van de riet- en zeebiesvegetatie en door de aanwezigheid van grote aantallen lange stolonen van riet rond de eigenlijke vegetatie. Hoogstens kan men concluderen dat de wortels van riet meer water uit de bodem zuigen dan van zeebiezen of grassen,

Figuur 14. Transect XIV.

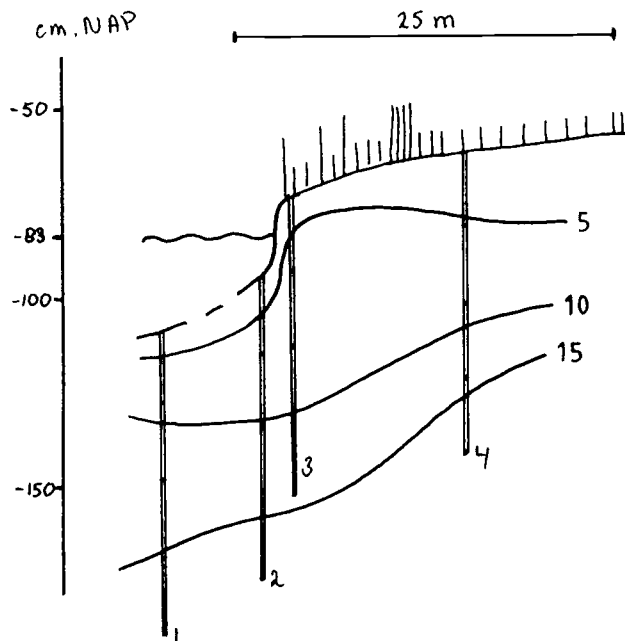


Tabel 13. A- en C-cijfers van transect XIV.

kolom:	1		2		3	
	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	46	12,6	29	1,1	31	37,1
20 - 40 cm	37	24,9	39	7,1	39	33,9
40 - 60 cm	43	28,7	43	20,2	41	32,1
60 - 80 cm	40	27,9	42	23,6	40	29,4

boezemwater: 0,68 g NaCl/l

Figuur 15. Transect XV.



Tabel 14. A- en C-cijfers van transect XV.

kolom:	1		2		3		4	
diepte	A	C	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	51	5,6	53	4,7	51	6,5	40	2,9
20 - 40 cm	67	11,1	50	9,1	49	6,1	50	5,7
40 - 60 cm	57	13,6	39	12,7	43	8,4	43	11,4
60 - 80 cm	52	18,4	47	16,7	42	13,0	47	16,7

kolom:	2'		3'	
diepte	A	C	A	C
0 - 20 cm	52	3,0	57	3,9
20 - 40 cm	48	6,8	50	4,8
40 - 60 cm	42	8,7	46	6,1
60 - 80 cm	49	11,1	52	8,7

kolom:	2''		3''	
diepte	A	C	A	C
0 - 20 cm	58	4,8	47	4,6
20 - 40 cm	41	9,2	46	3,7
40 - 60 cm	42	10,7	45	4,4
60 - 80 cm	46	11,6	51	5,7

boezemwater: 0,55 g NaCl/l

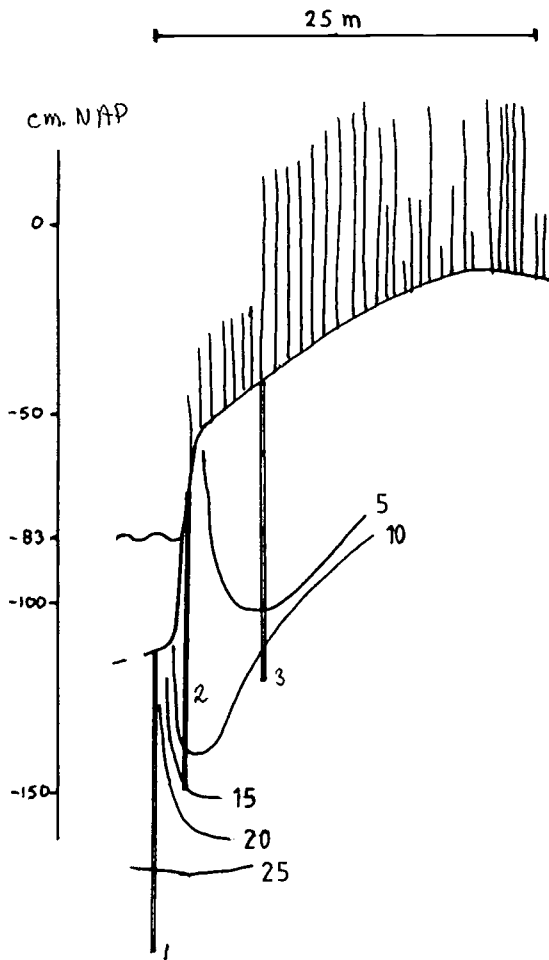
waardoor iets meer ontzilting heeft plaatsgevonden door penetratie van zoet boezemwater.

Transect XVI.

Dit transect is vergelijkbaar met de transecten XIV en XV op grond van de bodemsoort. We zien hier echter duidelijke symptomen van grondwaterstroming in het zoutprofiel. Ontzilting van de oever heeft plaatsgevonden door uitspoeling. De snelheid van uitspoelen is echter veel trager geweest dan bij transecten VII en VIII, die een vergelijkbaar hoogteprofiel hadden. Dit verschil werd veroorzaakt door de geringere doorlatendheid van de bodem.

De vergelijking van dit profiel met dat van transect XV levert bovendien het bewijs dat niet alleen het zoete water stroomt, maar ook het diepere zoute grondwater. Als dit niet zou stromen, zou in de bodem van het litoraal immers een zoutgradiënt zijn ontstaan doordat daar ontzilting zou hebben plaats gevonden door diffusie, zoals in transect XV.

Figuur 16. Transect XVI.



Tabel 15. A- en C-cijfers van transect XVI.

kolom:	1		2		3	
	A	C	A	C	A	C
0 - 20 cm	103	22,7	76	6,9	34	1,3
20 - 40 cm	152	23,5	90	6,3	57	2,1
40 - 60 cm	79	23,5	101	7,2	49	2,5
60 - 80 cm	32	22,1	108	10,3	85	9,9

boezemwater: 1,09 g NaCl/l



### Discussie.

De kwel van grondwater was waarschijnlijk gespreid over een groot deel van het litoraal, maar ze was meestal al vlak voor de oever merkbaar. Soms kwam het grondwater in of zelf achter de oeverzone al aan de oppervlakte. Omdat het grondwater meestal zout was, staken de helofytenkragen bijna nergens ver in het water.

Penetratie van zoet boezemwater vond altijd vlak voor de oever plaats, het sterkst in de helofytenkraag omdat de wortelgangen het water daar gemakkelijk geleidden. Bovendien onttrokken de helofyten zelf ook water aan de bodem, waardoor sterkere penetratie optrad.

Diffusie speelde voor de ontziltling in de oeverzone alleen een rol in de lutumrijkere gronden. Grondwaterstroming had echter ook hier een veel sterkere ontziltende werking wanneer er in de oever hoogteverschillen waren van meer dan 20 to 30 cm, of wanneer het achterland zoveel hoger was dan de oeverzone.

De besproken oevertransecten geven niet een volledig beeld van de ontziltingsprocessen, en een aantal verschijnselen is er niet overtuigend door aangetoond. Toch kan worden aangenomen dat de ontziltingsgeschiedenis van de meeste oevers van het boezemmeer beschreven kan worden aan de hand van de bevindingen van dit onderzoek. Bij de ontziltling spelen de volgende zaken een belangrijke rol: de hoogte van het achterland t.o.v. de oever, de hoogte van de oever t.o.v. het gemiddelde boezempeil, de bodemstructuur, de vegetatie van het achterland en het al dan niet voorkomen van helofyten in de oeverzone.

#### De hoogte van het achterland t.o.v. de oever.

In bijna alle gevallen is **er** aan te geven of het achterland als hoog of als laag moet worden beschouwd. Een laag achterland vertoont niet of nauwelijks helling. De hoogteverschillen met de oeverzone bedragen hoogstens een of twee decimeters. Een uitzondering vormt Achter de Zwarten. Het achterland is vlak en laag, maar op grotere afstand ligt De Rug die zich toch als achterland laat gelden.

Hoog achterland. In de oeverzone en ook in de eerste 25 tot 50 meter erachter heeft ontziltling plaatsgevonden door uitspoeling met perculatiewater. Op sommige plaatsen trad stagnatie op van de grondwaterstroming in de oeverzone, waardoor kwel optrad in of direct achter de oeverzone. Dit was duidelijk aan de vegetatie te zien.

Laag\_achterland. Uit de vegetatie in het achterland was af te leiden hoe ver de ontzilting is voortgeschreden. Een zoutplantenvegetatie gaf aan dat er geen of nauwelijks ontzilting plaatsvond. Meestal was er zelfs een overwegend opwaartse grondwaterstroming in het achterland door een verdampingsoverschot. Dit had vaak penetratie van zoet boezemwater in de oeverzone tot gevolg. Het meest kwam deze situatie voor op een zandbodem met een zeer lichte helling. Een grasmat van fioringras werd meestal gevonden op zavelbodem zonder helling. Regenwater werd goed vastgehouden door het gras en werd grotendeels in de bodem opgenomen. Grondwaterstromingen waren afwezig. Ontzilting vond in de oeverzone door diffusie plaats. Wanneer helofyten zich vestigden begon penetratie van boezemwater in de oever een steeds grotere rol te spelen in de ontzilting. Wanneer helofyten niet alleen langs het water stonden, maar ook verspreid over tientallen meters in het achterland groeiden, moest aangenomen worden dat de bodem hier voortdurend nat was en de bovenlaag matig tot goed ontzilt was. Dit type oever vinden we op plaatsen waar het achterland nauwelijks boven het gemiddelde boezemwaterpeil uitkwam, en daardoor regelmatig geïnundeerd werd. Omdat het voor de kieming van de meeste helofyten noodzakelijk is dat de bodem lange tijd niet uitdroogt, moeten op deze plaatsen ondiepe poeltjes hebben gelegen. Zo'n onregelmatige vlakte vinden we ter hoogte van het gemiddeld boezemwaterpeil alleen maar op plaatsen waar schelpenbanken hebben gelegen.

De hoogte van de oever t.o.v. het boezemwaterpeil.

Hierbij worden drie typen oevers onderscheiden. Ten eerste de oevers met weinig hoogteverschil, eventueel met een klein afslagrandje. Ten tweede de oevers met een hoogteverschil van meer dan 20 cm en een bodem zonder schelpen. Ten derde de oevers met een groot hoogteverschil, veroorzaakt door een schelpenwal die al dan niet is vastgelegd en begroeid.

Afslagrand. Deze was zelf altijd goed ontzilt door uitspoeling. Naarmate de grondwaterinvloeden kleiner waren, de afslagrand hoger was of de bodem lutumarmer was, heeft de ontzilting over grotere breedte plaatsgevonden.

Een groot hoogteverschil zonder schelpen in de bodem. Ontzilting is al vroeg opgetreden. Meestal stond er riet voor de oever, maar de

aanwezigheid van riet was vooral afhankelijk van de expositie t.a.v. golfslag en het aanplantbeleid van de RIJP.

Een schelpenwel. Alle schelpenwallen waren ruderaal beroeid. De meeste waren door de wortels van de planten en door zand vastgelegd en daarna met gras en kruiden overgroeid. Ontziltling ging uiterst snel door het vrij grote hoogteverschil en door de zeer goede doorlatendheid van de bodem. Wellicht waren de schelpenwallen daardoor juist vrij kruidenrijk. Helofyten konden zich op de schelpen niet handhaven, waarschijnlijk door watergebrek.

Klein hoogteverschil. Wanneer het achterland hierbij hoog is, bepaalde deze de ontziltling. Wanneer het achterland echter zo laag was dat er geen grondwaterstroming plaatsvond in de richting van de oever, was de ontziltling afhankelijk van de bodemgesteldheid.

In een zandbodem trad ontziltling op door penetratie van zoet boezemwater. Helofyten konden hierbij een belangrijke bijdrage leveren, waardoor ze zelf ervoor zorgden dat hun groeiplaats zich geleidelijk kon uitbreiden.

In een zavelbodem vond ontziltling meestal door diffusie plaats. Vestiging van grassen resulteerde in een langdurig vochtige bodem, waardoor vooral riet gemakkelijk kon kiemen. Wanneer dit riet aansloeg in de oeverzone kwam een penetratiestroom op gang die de ontziltling versnelde.

#### Referenties.

- Dijk, W.J. van, 1978: Ontziltling in het Lauwerszeegebied, Werkdoc. 1978-174 Abw; R.IJ.P., Lelystad.
- Fresco, L.F.M., 1980: Methoden bij het vegetatiekundig onderzoek, Lab. v. plantenoecologie, Rijks Univ. Groningen, Haren.
- Keizer, A., 1980: Een aanzet tot de inventarisatie van de oevervegetatie in de Lauwerszeepolder. Doktoraal/stage-verslag. Lab. v. plantenoecologie, Rijks Univ. Groningen, Haren.
- Mazure, J.P., 1940: De water- en zoutbalans van het IJsselmeer. Bijlage 9 van het 'Rapport van de Subcommissie IJsselmeer aan de commissie Drinkwatervoorziening Westen des Lands'.
- Molen, W.H. van der, 1980: Water quality, influence of transport and mixing processes. Vakgr. Cultuurtechniek, Landb. Hogesch. Wageningen, Wageningen. p. 21 - 27.