

rijp rapport

1986 -24 abw

waterhuishouding en zouthuishouding van de slikken van flakkee

door h. slager, d. j. fluijt en g. j. rook

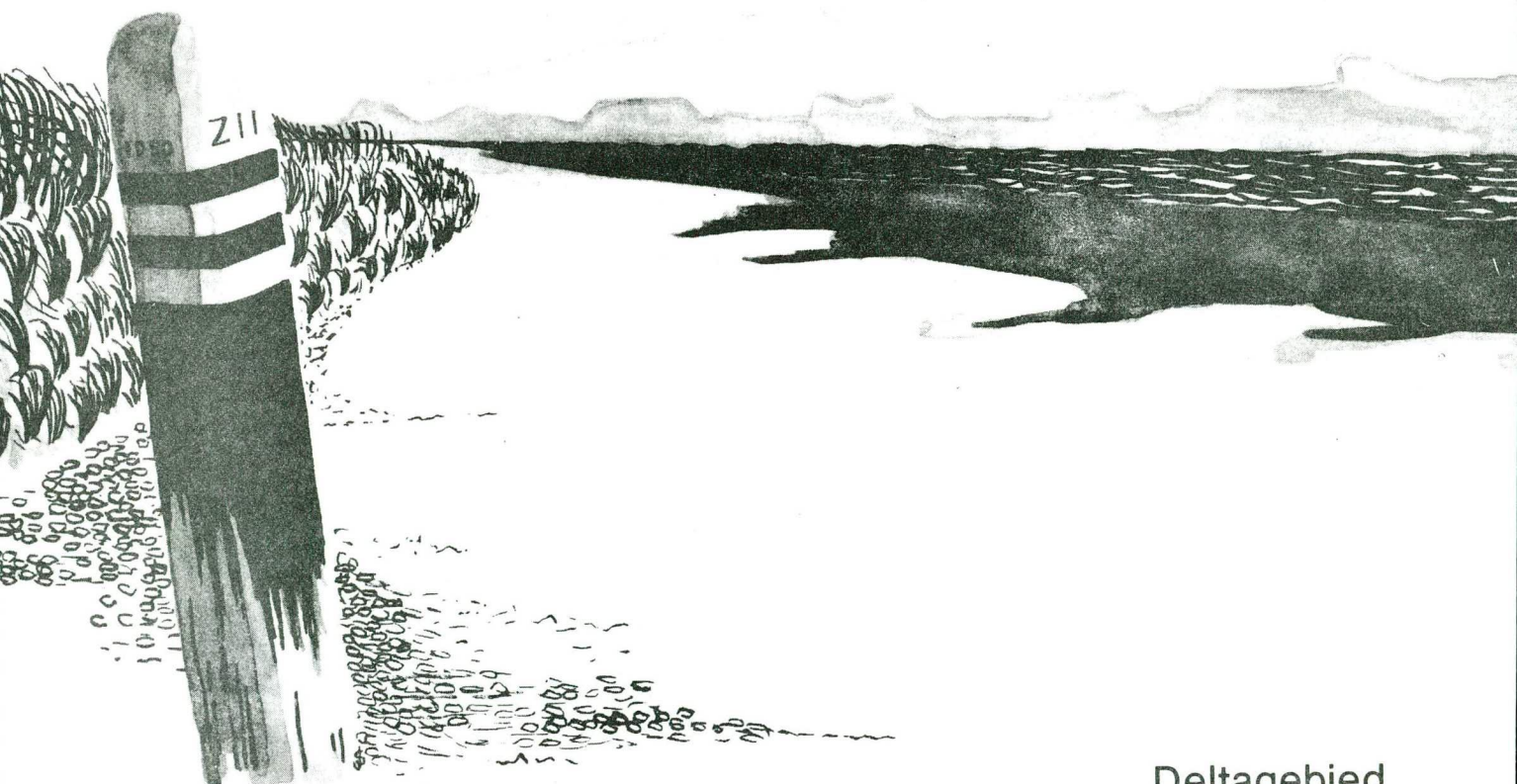




waterhuishouding en zouthuishouding van de slikken van flakkee

door h. slager, d. j. fluijt en g. j. rook

1986 -24 abw



Deltagebied

Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders
Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Inhoud

	<u>Blz.</u>
1. SAMENVATTING	7
2. INLEIDING	9
3. GEBIEDSKENMERKEN	11
4. HOOGTELIKKING	13
5. BODEM	15
5.1. Algemeen	15
5.2. Ondergrond	15
5.3. Bovengrond	15
5.4. Zanddepot	16
6. HET WEER IN DE ONDERZOEKSPERIODE	17
7. MEERPEIL EN OVERSPOELING	19
8. HET GRONDWATERREGIME	21
8.1. Methode van waarnemen	21
8.2. Methode van gegevensverwerking	21
8.3. Grondwaterstandsverloop in de tijd	22
8.4. De invloed van de bodem op de fluctuatie	23
8.5. De wintergrondwaterstanden	24
8.6. De zomergrondwaterstanden	25
9. DE ZOUTHUISHOUDING	27
9.1. Methode van meten	27
9.2. Methode van gegevensverwerking	28
9.3. De zouttoestand	28
10. HET KALKGEHALTE	31
11. ABIOTISCHE MILIEUTYPEN	33
LITERATUUR	37

Referaat

Waterhuishouding en zouthuishouding van de slikken van Flakkee / door H. Slager, D.J. Fluyt en G.J. Rook ; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. - Lelystad : RIJP, 1986. - 40 p. : fig., tab. ; 30 cm. - (RIJP-rapport ; 1986-24 Abw) Lit. opg.

De Slikken van Flakkee is een natuurgebied, grenzend aan het zoute Grevelingenmeer. Ten behoeve van de inrichting en het beheer is er in de periode 1971-1984 onderzoek gedaan naar de abiotische kenmerken bodem, waterhuishouding en zouthuishouding. De veranderingen in de waterhuishouding en de zouthuishouding zijn groot door het wegvallen van eb en vloed na de afsluiting van de zeearm in 1971. De abiotische kenmerken van het gebied en de ontwikkelingen daarin worden beschreven. Het gebied is rijk gevarieerd. Voor het beheer is kennis van de variatie in de abiotiek en de veranderingen, die daarin zijn opgetreden en nog zullen optreden, van groot belang. Ze zijn van invloed op de ontwikkelingen van flora en fauna.

1. Samenvatting

De Slikken van Flakkee is een voor natuur bestemd gebied van ca. 1.450 ha ten zuid-westen van Goeree-Overflakkee. Het maakt deel uit van het Grevelingengebied. Door de afsluiting van de Grevelingen met de Brouwersdam in 1971 hield de getijdebeweging in het gebied op. Dat bracht een ingrijpende verandering. Het Grevelingenmeer kreeg een "vast" streefpeil van 0,20 m - N.A.P.

De Slikken van Flakkee kwamen permanent droog te liggen, vegetatie ontwikkelde zich en door neerslag kwam ontzilting op gang. Dit proces is nog in volle gang.

Na de afsluiting van de Grevelingen is er onderzoek gedaan naar de bodemopbouw, de waterhuishouding en de zouthuishouding van het gebied.

Het water in het Grevelingen is zout. Het meer heeft een afsluitbare verbinding met de zee.

Het flauw oplopende slikkengebied gaat dicht bij de vroegere zeedijk over in schorren. De schorren liggen aanmerkelijk hoger dan de slikken en zijn doorsneden met afwateringskrekken. Een gedeelte van deze schorren is echter geëgaliseerd. Daarmee is de natuurlijke afwatering verloren gegaan.

De bodem bestaat grotendeels uit lutumarm zand. Naar de dijk toe wordt het zand iets fijner en lutumhoudender.

Op de schorren is een laag zavel van variërende dikte op het zand afgezet. In de ondergrond komt op het grootste deel van het gebied een ondoorlatende laag van klei en veen voor. In oude zeearmen, die voornamelijk in het middengebied voorkomen, bestaat het profiel tot grote diepte uit zand. De verschillen in bodemopbouw veroorzaken verschillen in waterbeweging en in ontzilting. Het zand heeft een zodanige fijnheid ($U = 90$ à 100) dat de doorlatendheid niet groot is. Naar de dijk toe wordt de doorlatendheid kleiner doordat het zand fijner wordt. Dat heeft tot gevolg dat in de winter de grondwaterstand grotendeels in of vlak onder maaiveld staat. Op die gedeelten waar de ondoorlatende lagen ontbreken zakt de grondwaterstand eerder en daardoor iets dieper. Het water wil daar gemakkelijker via de ondergrond naar het meer.

Op de laag en vlak liggende oevergedeelten komt bij zuidwestenwind overspoeling met meerwater voor. Bij storm kan een groot gedeelte van de Slikken overspoeld worden door de opstuwung van het water.

In de zomer is de grondwaterstand dieper naarmate de afstand vanaf het water groter is. De hoogteligging neemt in die richting toe.

Er is op de Slikken van Flakkee gelijktijdig een ontziltingsproces en verziltingsproces gaande. Ontzilting treedt op op het hoogst gelegen deel, het snelst daar waar de bodem tot grote diepte redelijk doorlatend is. Verzilting treedt op in de laagliggende oever langs het water die regelmatig met zout Grevelingenwater wordt overspoeld. Verdamping wordt daar grotendeels aangevuld uit het ondiepe grondwater dat zout is. Daardoor accumuleert er zout in de bovengrond. De zoutconcentraties in het grondwater lopen op tot 2 à 3 maal die in zeewater. De grenzen tussen zout en zoet zullen waarschijnlijk nooit heel scherp worden.

In de overspoelde delen komen vloedmerken voor die door zand zijn overstoven. Ze liggen daardoor iets hoger. Deze stuifbultjes ontzilten wel. Het gebied is in abiotisch opzicht rijk gevarieerd. Er kan zich dus een

rijke flora en fauna ontwikkelen. Die ontwikkeling is nog in volle gang en zal vele jaren duren.

Van de abiotische factoren hebben vooral de morfologie en de zouthuishouding zich nog niet gestabiliseerd. Er zullen dus nog abiotische veranderingen optreden.

2. Inleiding

Na het sluiten van de Brouwersdam in 1971 viel in het Grevelingengebied een deel van het intergetijdegebied droog, waaronder de Slikken van Flakkee (figuur 1).

Voor de afsluiting van de Grevelingen stond het gebied onder invloed van de eb- en vloedbeweging van het zoute zeewater. Na de afsluiting heeft het Grevelingenmeer een vast peil gekregen. Het water in het meer is wel zout gebleven. Overspoeling komt nu alleen nog voor op de laagliggende oevers bij storm.

Er is dus een ingrijpende verandering in het gebied gekomen. De gevolgen daarvan voltrekken zich in een proces dat vele jaren duurt.

Aan de Slikken van Flakkee is voorlopig de functie van natuurgebied gegeven. Om het gebied goed te kunnen inrichten en beheren is gebiedskennis nodig. Daarvoor is onderzoek gedaan. De waterhuishouding is een factor met een grote invloed op de ontwikkelingen in het gebied.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de uitvoering en de resultaten van het waterhuishoudkundig onderzoek.

3. Gebiedskenmerken

De Slikken van Flakkee maken deel uit van het Grevelingenbekken en zijn gelegen ten zuidwesten van het eiland Goeree-Overflakkee. Het gebied is gemeentelijk ingedeeld bij de gemeenten Goedereede en Dirksland. Het bestaat uit ca. 1.450 ha drooggevallen gronden (ca. 350 ha schor en 1.100 ha slik) en ca. 1.250 ha ondiep water tot N.A.P.- 2,5 m (figuur 2). De oeverlengte bedraagt ca. 20 km, terwijl de begrenzing met de voormalige zeedijk een lengte heeft van ca. 14 km. De oeverlijn ligt op N.A.P.-0,2 m. De breedte van de Slikken van Flakkee varieert van 500-2.500 m. Het gebied is, gerekend vanaf de vroegere zeedijk, onder te verdelen in de volgende eenheden:

- het schor
- het slik
- het ondiepe water.

In het midden van het gebied ligt een zanddepot van ca. 30 ha, dat in 1970 is opgespoten.

Na het permanent droogvallen van de schorren en slikken is aan de topografie hiervan wel wat veranderd. In de schorrand zijn enige geulen gedeeltelijk dichtgestoven en de schorren op het zuidelijk gedeelte zijn grotendeels geëgaliseerd, wat ingrijpende gevolgen heeft voor de waterhuishouding van het gebied. Het bodemreliëf op de slikken is grotendeels intact gebleven. Wel zijn door verstuiving en invang van zand in vegetatiepollen, aanspoelsel en stuifschermen plaatselijk stuifbultjes en richels ontstaan.

Op figuur 3 zijn de plekken aangegeven waar waarnemingen zijn gedaan naar water- en zouthuishouding.

4. Hoogteligging

De hoogteligging van het gebied is gegeven op de hoogtekaart, figuur 3. In een dwarsdoorsnede van het meer naar de dijk in de hoogteligging van het maaiveld in de raaien C en F gegeven (figuur 23).

De dijk

De vroege zeedijk heeft een kruinhoogte van N.A.P. + 6,50 m. De dijk vormt de scheiding tussen het binnendijkse land en de schorren en slikken. Het binnendijkse land ligt op N.A.P. + 0,80 m à 1,20 m, dat is 0,5 à 1 m lager dan de schorren.

Het schor

Het schor is te verdelen in oud en jong schor. De hoogteligging van het oude schor varieert tussen N.A.P. + 1,40 en N.A.P. + 2,30 m. In het oude schor komen maar weinig krekten voor en het oeverwal-kompatoon is verdwenen door egalisatie. Ook de zomerkades rond enkele stukken oud schor zijn door egalisatie grotendeels verdwenen.

Het jonge schor werd in het begin gekenmerkt door het patroon van kreek-oeverwal-kommen (figuur 4).

De schorren op de noordelijke helft van het gebied hebben nog dit patroon (figuur 2), op de zuidelijke helft zijn de jonge schorren grotendeels geegaliseerd. De hoogte is gemiddeld N.A.P. + 1,50 m. De schorrand ligt meestal iets hoger.

In de overgang van schor naar slik staan veel spartinapollen waarin na het droogvallen zand is ingestoven.

Het slik

Het slik is een zeer zwak hellend gebied. Langs het schor en langs de dijk is de hoogte ca. N.A.P. + 1 m. Vanaf hier helt het slik geleidelijk af naar het water (N.A.P. - 0,20 m). Het slik heeft een gemiddelde breedte van 1.000 m, zodat de gemiddelde helling ca. 0,1% is. Een uitzondering hierop is het middengebied, waar tot betrekkelijk dicht langs de waterlijn hogere delen (tot N.A.P. + 0,50 m) voorkomen. Op het zuidelijk gedeelte dat grenst aan het middengebied komen plaatselijk steilrandjes voor. Deze remmen de overspoeling af. Reliëf van betekenis wordt veroorzaakt door de prielen die een diepte van 0,20 - 0,50 m beneden maaiveld hebben en een breedte tot enkele tientallen meters. Op het zuidelijke deel zijn er meer en diepere afwateringsprielen dan op het noordelijke deel. Van grote betekenis in het vlakgelegen gebied zijn verder micro-duintjes, die door verstuving zijn ontstaan. De hoogte hiervan is maximaal enige decimeters. De oppervlakte van deze bultjes varieert van 1 - 10 m².

Het ondiepe water

Voor het noordelijk deel van de Slikken van Flakkee is een zeer flauw verlopende onderwateroever gelegen. 2 tot 3 kilometer uit de oever wordt pas een diepte van N.A.P. - 2,50 m bereikt. Een gemiddelde taludverloop van 1 : 1.000 is hieruit af te leiden.

Het middengebied grenst bijna onmiddellijk aan dieper water. Nabij de veerstoep (zie figuur 2) heeft de onderwateroever een talud van ca. 1 : 40, ofwel ca. 100 tot 150 m ondiep water tussen oever en vaargeul. Voor het zuidelijk deel varieert de breedte van het ondiepe water van 150 m nabij het middengebied tot ca. 800 m voor het meest zuidelijke gedeelte van de Slikken van Flakkee. Dicht voor de oever van het middengebied en het aangrenzende deel van de zuidelijke helft zijn grinddammen aangebracht om oeverafslag tegen te gaan.

Het zanddepot

Het hoogste plateau van het zanddepot ligt op ongeveer N.A.P. + 6 m (figuur 5). Het zanddepot heeft een inhoud van ca. 1.200.000 m³ en heeft een grootste lengte van 600 m en een grootste breedte van 500 m. Het is voor een deel afgegraven, waardoor meer of minder steile taluds zijn ontstaan.

5. Bodem

5.1. Algemeen

Het Nederlandse kustgebied behoort voor het grootste deel tot het zogenaamde westelijke zeeleigebied. Zeeland behoort echter tot het Deltagebied, waardoor men de geologische opbouw van een riviermond zou verwachten. De jongste geologische afzettingen uit het Holoceen tonen echter niet de karakteristieke deltastructuren, maar meestal structuren die zijn ontstaan door transport vanuit zee. Deze afzettingen roepen een beeld op van een periodiek overspoeld en verdronken kustlandschap, waarin zich de estuaria van Rijn, Maas en Schelde bevonden.

Toen de bodem van Nederland grotendeels uit zand bestond is in de laagten het zogenaamde basisveen ontstaan. Later werd dit basisveen plaatselijk geëgaliseerd en zo ontstonden er diepe geulen, waarin eerst wadzand en later ook zavel en klei werd afgezet (afzettingen van Calais).

Daarna ontstond het zgn. Hollandveen. In dit veenpakket kunnen mariene afzettingen voorkomen, die evenals de afzettingen boven dit Hollandveen tot de zgn. Afzettingen van Duinkerke worden gerekend.

Als laatste ontstond het jonge duinlandschap, waarvan de ontwikkeling nog tot op heden plaatsvindt.

5.2. Ondergrond

In de ondergrond van de Slikken van Flakkee komen de Afzettingen van Calais voor in de vorm van klei. Het Hollandveen is in het centrale deel van de Slikken van Flakkee geërodeerd (vroeger zeegat). Op het noordelijk en zuidelijk deel van de Slikken van Flakkee is het veen nog intact en bedekt met humeuze klei (Afzettingen van Duinkerke).

Het oude zeegat tussen Goeree en Overflakkee is opgevuld met zand.

In de laatste transgressieperiode vond de normale ontwikkeling plaats van zandplaat via slik naar schor. De klei- en veenlagen werden overdekt met zeezand. Op de hoogste delen kwamen schorren tot ontwikkeling.

In figuur 6 is de begindiepte van de ondoorlatende lagen aangegeven.

Deze lagen hebben grote invloed op de waterbeweging door de grond.

5.3. Bovengrond

De slikken bestonden bij het droogvallen van het gebied uit een kale zandvlakte, geleidelijk afhellend naar de waterlijn en doorsneden met een aantal ondiepe geulen. De bodem van de slikken vertoont slechts een geringe variatie in samenstelling (figuur 7). Het zand wordt naar de dijk toe steeds fijner. (Bij de Vaate, 1981).

Overwegend komt middelfijn lutumarm zand voor (U-cijfer 80 à 100). Ter hoogte van de schorrand gaat het over in lutumhoudend zeer fijn zand met met een U-cijfer van 120 à 140.

Het organische stofgehalte van het lutumarme zand is zeer laag en bedraagt veelal niet meer dan 0,5%.

Het lutumarme zand bevat 4 à 6% koolzure kalk; dit gehalte stijgt met het toenemen van fijnheid en lutumgehalte en bedraagt 8 à 9% in het zand onder de schorgronden. In het tegen de dijk gelegen oude schor is op dit zand een dek van lichte- of zware zavel en plaatselijk klei afgezet, waarvan de dikte in de meeste gevallen meer dan 80 cm bedraagt. De opbouw van het bodemprofiel in het oude schor vertoont ruimtelijk gezien een grote variatie (figuur 7). In het algemeen neemt de zwaarte van de

grond af met het toenemen van de afstand tot de dijk. Op het oude schor heeft zich een donker gekleurde zodelaag ontwikkeld.

Op het jonge schor is op de zandige ondergrond een laag zware zavel afgezet. De dikte van deze laag is gering en varieert van 7 - 22 cm. Alleen in luwe hoeken, waar de omstandigheden wat gunstiger waren voor de sedimentatie, is deze laag wat dikker en doorgaans ook wat zwaarder.

Naar buiten gaat deze zavel min of meer geleidelijk over in het gelaagde zaveldek vande schorrand. De oeverwallen hebben een afwijkend profiel. Het hoogste deel ervan, direct grenzend aan de kreek, bestaat tot een diepte van 50 à 70 cm uit gelaagde lichte zavel. Deze zavel gaat min of meer geleidelijk over in een dun zaveldek ter plaatse van de tussen de krekken gelegen kommen (figuur 4).

Daar waar de schorren zijn geëgaliseerd zijn de krekken opgevuld met lutumhoudend materiaal uit de omgeving. De vrij dunne zavellaag is bijna geheel in de diepe geulen verdwenen.

Naarmate het lutumgehalte hoger is, is ook het organische stofgehalte hoger. Het lutumgehalte is 3 à 4 maal zo hoog als het organische stofgehalte. Het koolzure kalkgehalte varieert van 4 tot 10%.

5.4. Zanddepot

Het in 1970 opgespoten zanddepot bestaat uit kleiarm middelfijn zeezand.

6. Het weer in de onderzoeksperiode

Neerslag en verdamping zijn bepalend voor het verloop van grondwaterstanden. Daarom zijn de neerslag- en verdampingscijfers van de onderzoeksjaren verzameld.

Tabel 1 geeft de neerslag per maand zoals dat is gemeten te Dirksland. Uitzonderlijk natte en droge maanden zijn aangegeven met een + en - teken, zodat snel te zien is in welke maanden afwijkingen in de waterstanden te verwachten zijn.

Een vergelijking van de gemiddelde neerslag per maand met het langjarig gemiddelde laat zien dat in de onderzoeksperiode de maanden juli en augustus gemiddeld vrij droog zijn geweest en oktober vrij nat.

In tabel 2 is het neerslagoverschot per maand gegeven. Het is berekend met behulp van de verdampingscijfers van station Vlissingen.

Tabel 1. Neerslag in mm per maand te Dirksland

jaar maand	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	Gemiddelde '73- '83	jaar
januari	35	59	78	68	78	44	56	51	86	49	62	61	61
februari	66	49	21 ⁻	18 ⁻	81 ⁺	36	41	68	20 ⁻	16 ⁻	42	42	51
maart	13 ⁻	48	93 ⁺	38	54	53	102 ⁺	62	134 ⁺	65	73	67	47
arpil	51	16 ⁻	54	6 ⁻	56	50	56	36	33	17 ⁻	122 ⁺	45	53
mei	70	20 ⁻	39	23 ⁻	50	40	102 ⁺	4 ⁻	100 ⁺	35	92 ⁺	52	55
juni	33	71	87	33	27	67	73	61	75	79	39	59	54
juli	73	104 ⁺	54	21 ⁻	67	60	39	127 ⁺	38	18 ⁻	29 ⁻	57	74
augustus	32 ⁻	74	68	21 ⁻	87	30 ⁻	88	34 ⁻	21 ⁻	90	47	54	76
september	68	133 ⁺	91	106 ⁺	20 ⁻	67	20 ⁻	26 ⁻	69	38	145 ⁺	71	70
oktober	110 ⁺	163 ⁺	20 ⁻	80	43	41	74	101 ⁺	171 ⁺	178 ⁺	52	94	65
november	76	113 ⁺	114 ⁺	57	177 ⁺	49	75	60	63	86	75	86	78
december	63	72	31 ⁻	95	56	106 ⁺	130 ⁺	81	99	82	62	80	75
totaal	690	922	750	566	796	643	856	711	909	753	850	768	759

- aanmerkelijk minder dan normaal

+ aanmerkelijk meer dan normaal.

Tabel 2. Neerslag overschot in mm per maand te Dirksland (verdamping naar Vlissingen)

jaar maand	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	Gemiddelde '73- '83	jaar
januari	30	49	51	48	70	29	51	46	74	39	36	48	51
februari	49	26	1	3	61	20	28	52	1	- 2	17	23	34
maart	-30	9	53	-12	11	4	58	21	86	15	27	22	9
april	-19	-74	-11	-79	-22	-22	-13	-35	-42	-69	55	-30	-14
mei	-33	-90	-74	-105	-61	-57	- 3	-125	- 4	-89	6	-58	-52
juni	-103	-55	-54	-125	-103	-55	-37	-54	-34	-53	-90	-69	-69
juli	-46	-14	-81	-136	-57	-47	-79	17	-76	-113	-105	-67	-51
augustus	-81	-32	-59	-119	-19	-72	-14	-70	-76	-21	-87	-59	-29
september	- 6	69	13	41	-51	- 7	-56	-49	- 3	-36	37	- 4	6
oktober	77	130	-19	44	6	8	40	56	128	143	-28	53	33
november	54	85	101	41	163	35	58	36	40	64	23	64	69
december	55	40	24	88	49	97	113	72	91	69	49	68	73
totaal	-53	143	-55	-311	47	-67	146	-33	185	-53	-63	-10	59

7. Meerpeil en overspoeling

In het Grevelingenmeer wordt een peil van 0,2 m - N.A.P. nagestreefd. Dat is een gemiddelde. Afhankelijk van windkracht en windrichting ontstaan er afwijkingen van het gemiddelde peil. Zo ook bij de Slikken. Een noordoostenwind verlaagt het peil bij de Slikken, waardoor een deel van de flauw aflopende onderwateroever droog komt te liggen. Bij een zuidwestenwind wordt het water juist opgestuwd in de richting van de Slikken en veroorzaakt overspoeling van de normaal droog liggende oever. Dit komt regelmatig voor. Het is gemeten op twee plekken bij de waterlijn, C1 en F12. Van beide plekken is de gemeten waterstand in een jaargrafiek over 1979 weergegeven (figuur 8).

Op plek F12 is de opstuwung van het water iets minder sterk dan op plek C1. Daar zijn twee oorzaken voor. Er is vlak langs de waterlijn een steilrandje ontstaan dat het water enigszins tegenhoudt. Daarnaast is de strijklengte van de wind over het water veel korter dan bij C1 doordat op vrij korte afstand van de oever de Veermansplaat ligt.

Hoe harder de wind des te verder gaat de overspoeling, soms tot een niveau dat veel hoger ligt dan het meerpeil (tabel 3). Het water wordt dan in een dunne laag de flauw oplopende oever opgestuwd. Uit metingen op plek C1, een plek die aan de waterlijn ligt, is gebleken dat het meerpeil daar gemiddeld één keer per jaar hoger komt dan N.A.P. + 0,1 m.

Tabel 3. Waterstanden t.o.v. N.A.P. op de plekken C1 en C3 gemeten bij zuidwester storm

datum	C1, oeverlijn m.v. 0,20 m - N.A.P.	C3, 600 uit de oever m.v. 0,36 m + N.A.P.
25- 3-1979	0,03 ⁺	0,39 ⁺
13-12-1979	0,11 ⁺	0,44 ⁺
14-11-1980	0,09 ⁺	0,42 ⁺
2- 2-1981	0,14 ⁺	0,43 ⁺
26-11-1983	-	0,52 ⁺

Hoe dichterbij de waterlijn des te frequenter is de overspoeling. De grens van de maximale overspoeling wordt gemarkeerd door aanspoelsel van plantenresten e.d. Deze grens is na de zware storm van 26 november 1983 in kaart gebracht (figuur 3). Deze maximale overspoeling komt gemiddeld eenmaal in de 3 à 5 jaar voor.

De plukken of banen van aanspoelsel die in de eerste jaren op de slikken terecht kwamen werden in droge tijden door zand overstoven. Zo ontstonden de verhoogde richels en bultjes. Door deze hoger liggende plekken en de begroeiing die in de loop der jaren is gekomen gaat de overspoeling door opwaaiing nu minder ver dan in de eerste jaren toen de Slikken nog kaal waren.

De overspoeling is van belang omdat het water zout is. Regelmatige overspoeling, afgewisseld met daling van de grondwaterstand door verdamping zal het zoutgehalte in de grond langzamerhand verhogen. Ten minste als er geen water en daarmee zout naar de ondergrond verdwijnt.

8. Het grondwaterregime

8.1. Methode van waarnemen

De waarnemingen naar de grondwaterstanden zijn gedaan van 1971 tot 1984. Er is in al die jaren niet even vaak en op evenveel plekken gemeten. De waarnemingspiek ligt in de jaren 1973-1976. Vanaf 1976 is het aantal plekken sterk verminderd. Aan de hand van de kennis van het grondwaterregime en lineaire regressieberekeningen tussen meetplekken is toen een aantal representatieve plekken uitgezocht. Op het zanddepot is gemeten van 1980-1982.

De metingen werden gedaan in raaien die meestal haaks op het hoogtevverloop stonden, dus vanaf het water naar de dijk. Op figuur 3 zijn alle meetplekken aangegeven met uitzondering van enkele tijdelijk tussengevoegde plekken en die op de zuidelijke schorren.

Het maximale aantal meetplekken was 146. Daarvan lagen er 32 op de schorren, 96 op de slikken en 18 op het zanddepot. Op de zuidelijke schorren moesten de waarnemingen vroegtijdig gestopt worden.

De buizen stonden op particulier terrein dat geëgaliseerd is. Het betrof de raaien G, H en K die geplaatst waren in de situatie kreek-oeverwal-kom, en enkele plekken van de F-raai. De kreken werden dichtgeschoven met grond van de hoger gelegen oeverwallen. Door die egalisatie veranderde de normale waterhuishoudkundige situatie volledig.

De geëgaliseerde schorren zijn later Rijkseigendom geworden. Er is toen alsnog een summier onderzoek gedaan naar de waterhuishouding van dit gedeelte.

De waterstanden zijn gemeten in p.v.c.-buizen van 2,5 cm doorsnede. De diepte tot waarop ze in de grond werden geplaatst was afhankelijk van de maaiveldshoogte ten opzichte van N.A.P. op de plek. De buizen waren over een lengte van 1 m geperforeerd en dit geperforeerde gedeelte was met een jute sok omhuld. Alleen in de twee F-raaien stonden buizen die maar over 0,1 m waren geperforeerd. Dit was omdat die werden gebruikt voor het nemen van watermonsters per bodemlaag, voor de bepaling van het zoutgehalte. Hoewel ze iets minder snel inspelen op snel veranderde waterstanden, zijn ze goed bruikbaar voor waterstandsmetingen.

Op 27 plekken is gedurende 8-11 jaar gemeten. Op sommige van deze plekken zijn de metingen enkele jaren (1976-1979) onderbroken geweest. Op de overige meetplekken is 2 à 4 jaar gemeten.

De opnamefrequentie is meestal 1x per 2 weken geweest. In de eerste jaren is vaker gemeten, 1x per week en soms zelfs 2x per week.

Op 4 plekken is met een zelfregistrerende meter gemeten.

Van alle plekken is de hoogte van het maaiveld ten opzichte van N.A.P. gemeten. Door zandverstuiving op de onbegroeide slikken in de beginjaren veranderde de hoogteligging plaatselijk soms nogal sterk. Van de meeste plekken zijn ook de coördinaten ingemeten.

8.2. Methode van gegevensverwerking

Een hydrologisch jaar is verdeeld in een winterseizoen (1 oktober - 31 maart) en een zomerseizoen (1 april - 30 september).

Naar T.N.O.-normen bestaat een gemiddeld hoogste grondwaterstand (G.H.G.) uit het minstens acht jarig gemiddelde van de drie hoogst gemeten grondwaterstanden per winterperiode. De gemiddeld laagste grondwaterstand (G.L.G.) is het minstens achtjarig gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden per zomerperiode gemeten bij een meetfrequentie van eenmaal per twee weken.

Voor de berekening van de G.H.G. ende G.L.G. per plek was niet steeds aan de T.N.O.-normen te voldoen, zeker niet wat het aantal meetjaren betrof. Nagegaan is in hoeverre het gemiddelde van een driejarige periode afweek van het gemiddelde van een minstens achtjarige periode. Dat is gedaan bij buizen die acht jaar of langer gemeten zijn. Het driejarig gemiddelde wijkt weinig af van het achtjarig gemiddelde (figuur 9). Op grond van dit gegeven is ook van de plekken die drie à vijf jaar gemeten zijn een G.H.G. en een G.L.G. berekend.

Seizoenen met minder dan zes metingen zijn voor deze berekening buiten beschouwing gelaten.

Van alle meetplekken is ook de gemiddelde wintergrondwaterstand (G.W.G.) en de gemiddelde zomergrondwaterstand (G.Z.G.) berekend. Dat is gedaan omdat verwacht werd dat o.a. door de overspoeling sommige plekken niet verschilden in de G.H.G. maar dat wel zouden doen in de G.W.G. Dat was ook het geval, zoals bij voorbeeld in raai B.

Op enkele plekken in raai P en R was maar in één winterperiode gemeten, en wel in de natte winter 1974-1975. Daardoor was vooral de gemiddelde wintergrondwaterstand (G.W.G.) te hoog. Voor deze plekken is daarom de G.W.G. geschat.

Van enkele langjarig gemeten plekken zijn langjarige grondwaterstandsverlopen gemaakt. Die kunnen inzicht geven in de veranderingen die er in de tijd optreden.

Van de zelfregistrerende meters zijn ook verlopen gemaakt. Ook die geven inzicht in veranderingen vooral in de fluctuaties van de grondwaterstanden.

8.3. Grondwaterstandsverloop in de tijd

Bij de interpretatie van de meetgegevens moet bedacht worden dat we te maken hebben met een gebied in ontwikkeling. Door de afsluiting van het Grevelingenbekken is de getijdebeweging verdwenen. Door neerslag zal het gebied grotendeels zoet worden, maar dat is voor de gedeelten met een slechte natuurlijke ontwatering een langdurig proces.

Na de afsluiting was het gebied op de schorren na onbegroeid. Vanaf 1972 is het slik geleidelijk begroeid geraakt, eerst met zoutminnende vegetatie en naarmate er ontzilting optrad met meer zoutmijdende planten. De schorren zijn na de afsluiting sterker begroeid geraakt.

Dit proces van ontzilting, begroeiing en verandering in plantensoorten is nog volop in gang en zal nog heel lang duren. Het beïnvloedt de grondwaterstanden. Wel of geen vegetatie geeft een groot verschil in het onttrekken van vocht, maar ook in het vasthouden ervan.

Op één van de meetplekken, C3, heeft vanaf 1973 een zelfregistrerende meter gestaan zodat van die plek nu een 10-jarige reeks van grondwaterstanden aanwezig is. Er is in de loop der jaren een duidelijke verandering opgetreden. De diepste grondwaterstand is in de loop der jaren ca. 0,2 m gedaald van 0,90 naar 1,10 m beneden maaiveld. Dat is toe te schrijven aan de invloed van de vegetatie, die zich heeft ontwikkeld van niets naar een grassige vegetatie. Daardoor is er in de zomer meer onttrekking door verdamping en dus meer capillair transport. Ook is het bergend vermogen iets groter geworden door de vegetatielaag. Gevolg daarvan is dat de waterstand iets minder snel omhoog schiet na neerslag.

Ter illustratie zijn twee jaarreeksen opgenomen, 1975 en 1982. Op die figuren is ook de neerslag per decade aangegeven. Er is een duidelijk verschil tussen de twee jaren waarbij vooral opvalt dat de grondwaterstand in 1975 veel meer fluctueert dan in 1982 (figuren 10 en 11). Op enkele plekken is de gehele periode van 1971 tot 1983 vrijwel tweewekelijks gemeten. Uit de grondwaterstandsverlopen over deze periode van 12 jaar blijkt dat er een dalende tendens zit in de diepste grondwaterstanden. Vooral op plek A4 is dat duidelijk (figuur 12). Op plek C2, die dicht bij het water ligt en waar weinig vegetatie staat doordat het er zout is, is er geen verandering. Op plek C3 is er de al besproken daling van 0,2 m en op C6, waar de waterstand dieper is, is er ook een dalende tendens. Op F6 is er nauwelijks verandering te zien (figuur 16). Deze plek is al in 1972 ingezaaid met gras om verstuiving tegen te gaan. Daar is vanaf dat moment al onttrekking door vegetatie geweest. Bij andere plekken die gedurende een kortere periode gemeten zijn is geen verandering zichtbaar. Op plekken die dicht bij de waterlijn liggen, zoals C1 en F12 en waar de waterstand snel en sterk fluctueert (figuur 8), geeft een tweewekelijkse meting te weinig informatie.

8.4. De invloed van de bodem op de fluctuatie

Onder invloed van neerslag en verdamping fluctueert de waterstand. Hoe sterk die fluctuatie is hangt mee af van het bergend vermogen en de doorlatendheid van de grond. Uit de sterke fluctuaties van de grondwaterstand door neerslag en verdamping is te concluderen dat het bergend vermogen van de grond gering is. In de loop van de jaren neemt het bergend vermogen toe en vermindert de snelheid van fluctuatie.

De samenstelling van de ondergrond op de Slikken is verschillend. Als de ondoorlatende laag ontbreekt stroomt het water beter naar de diepere lagen. De grondwaterstand vertoont dan minder hoge en korter durende pieken bij neerslag. Ook in de winter daalt de waterstand dan vaker en dieper beneden maaiveld.

F6 is een plek waar de ondoorlatende laag ontbreekt. Op C3 zit een ondoorlatende laag op 1,5 à 2 m diepte. Dat verschil is te zien in de Y/T-lijnen gemeten met de zelfregistrerende meter op deze plekken in 1979 (figuur 17 en 18). Vooral het verschil in de herfst is het voorjaar is opvallend.

Hoe beter de doorlatendheid van het profiel des te sterker wordt de grondwaterstand bepaald door de hoogteligging van het maaiveld boven het meerpeil. Is de ondergrond ondoorlatend dan zal de winterwaterstand vrijwel altijd in het maaiveld staan omdat er geen verdamping is. De zomerwaterstand wordt dan bepaald door de verdamping van de vegetatie.

In een grafiek waarin de hoogteligging boven meerpeil wordt uitgezet tegen de G.H.G. en de G.L.G. is dat zichtbaar te maken. Hoe beter de doorlatendheid des te dichter zullen de punten bij de 45°-lijn liggen. In figuur 19 is dit nagegaan bij plekken met een ondoorlatende en een doorlatende ondergrond. Het verschil is niet zo groot en alleen maar aanwezig bij de G.H.G. Uit de ligging van de lijn ten opzichte van de 45°-lijn wordt duidelijk dat in beide gevallen de doorlatendheid van het

profiel gering is. In beide situaties staat de G.H.G. in of dichtbij het maaiveld. De G.L.G. zakt bij beide ver beneden het meerpeil. De geringe doorlatendheid komt door de fijnheid van het zand. Vanaf de waterlijn naar de schorren wordt het zand fijner. Het U-cijfer loopt in die richting op van ca. 90 naar ca. 120. Daar komt nog bij dat de hoogste delen op de grootste afstand van het meer liggen.

Omdat de G.H.G. in dit gebied mee wordt bepaald door de overspoeling die regelmatig optreedt, is ook de gemiddelde wintergrondwaterstand (G.W.G.) uitgezet tegen de hoogteligging (figuur 20).

De relatie is dan sterker en het verschil tussen de plekken met een doorlatende en met een ondoorlatende ondergrond groter dan bij de G.H.G. Dat komt doordat bij een doorlatende ondergrond de waterstand in de winter, als er een poosje geen neerslag valt, toch beneden maaiveld zakt, ook al is er geen verdamping.

Bij de zomergrondwaterstanden is er heel weinig verschil tussen doorlatende en ondoorlatende ondergrond. Het is bij de gemiddelde zomergrondwaterstand iets groter dan bij de gemiddelde laagste grondwaterstand.

8.5. De wintergrondwaterstanden

Uit de verzamelde gegevens is een kaart gemaakt met gemiddelde hoogste grondwaterstand (G.H.G.) en één met de gemiddelde winter grondwaterstand (G.W.G.), figuur 21 en 22. In een zone van de slikken langs het meer is de G.H.G. hoger dan het maaiveld. Dat komt door de regelmatig optredende overspoeling. Op de rest van de slikken staat de G.H.G. in het maaiveld of er iets beneden. Op plaatselijk hoger liggende stuifbultjes is de waterstand ten opzichte van dat maaiveld dieper. Dat is van belang voor de percolatie van regenwater. Alleen langs de schorrand op het middengebied staat de G.H.G. iets dieper dan 0,2 m beneden maaiveld.

De gemiddelde waterstand in de winter staat alleen op heel laag gelegen plekken boven maaiveld. Ook vlak langs de oever staat het water niet altijd op het maaiveld. Vrijwel overal is de gemiddelde wintergrondwaterstand ondieper dan 0,2 m beneden maaiveld. Alleen in het middengebied is het tussen 0,2 en 0,4 m en langs de schorrand dieper dan 0,4 m. Dit middengebied ligt iets hoger en er zitten geen klei- en veenlagen in de ondergrond. Daardoor zakt de grondwaterstand iets dieper, zoals al uiteengezet is in paragraaf 7.4.

Van twee meetraaien is een doorsnede gemaakt.

Raai C heeft een ondoorlatende ondergrond.

Raai F heeft een doorlatende ondergrond en het maaiveld ligt aan de waterkant veel hoger dan bij raai C. In de doorsnedes is naast de maaiveldshoogte ook de G.H.G. en de G.W.G. ingetekend. De overspoeling en de verschillen in de waterstanden zijn in deze doorsnedes duidelijk zichtbaar (figuur 23).

Op de schorren is de situatie in de winter zeer gevarieerd. Op het noordelijk gedeelte, waar de krekten nog intact zijn, wordt de grondwaterstand bepaald door de hoogteligging. Dicht langs de krekten, op de oeverwallen zullen vrij diepe waterstanden voorkomen evenals op de hoog liggende schorrand. In de lager liggende en ingesloten kommen zal het in de winter vaak nat zijn. Op de zuidelijke schorren zijn door egalisatie de kre-

ken verdwenen. Daardoor is de natuurlijke afwatering verstoord. Dat heeft plaatselijk zeer natte situaties tot gevolg met langdurige en uitgebreide plasvorming. Het maaiveld is hier vlak geschoven. Daarbij is bijna de hele zavel laag, die hier niet zo dik en niet zo zwaar was, in de diepe geulen geschoven. Door beweiding wordt de bovengrond dicht getrapt. Dat bevordert de plasvorming.

Het zanddepot heeft een geheel eigen grondwaterregime. Op het hoge gedeelte is het ook 's winters droog met een waterstand van ca. 3 m beneden maaiveld. Het grondwater treedt zijdelings uit, waardoor rondom het hoog liggende zanddepot een zeer natte strook voorkomt, waar 's winters permanent water op het maaiveld staat. Figuur 24 geeft dwarsdoorsneden van het zanddepot met daarop de hoogteligging en de grondwaterstanden.

8.6. De zomergrondwaterstanden

Er is een kaart gemaakt van de gemiddelde laagste grondwaterstand (G.L.G., figuur 25). De gemiddelde grondwaterstand in de zomerperiode geeft hetzelfde beeld als de G.L.G., er is alleen een niveauverschil van ca. 0,25 m.

Op de slikken is er maar een smalle strook langs het water waar de G.L.G. ondieper is dan 0,5 m beneden maaiveld. Er is ook een smalle strook met een G.L.G. tussen 0,5 en 0,8 m. Behalve op het hoger liggende middengedeelte is in de strook dicht langs het water de fluctuatie sterk. Door overspoeling kan een diepere waterstand soms heel snel weer stijgen tot in of boven maaiveld (figuur 8).

Op het grootste deel van de slikken is de G.L.G. tussen 0,8 en 1,2 m beneden maaiveld. Van het meer naar de schorren wordt de waterstand steeds dieper. Het maaiveld loopt op en de invloed van het meer wordt kleiner. Dat verloop is heel goed te zien in de doorsnede van de raaien C en F (figuur 23). Het verschil in doorlatendheid van de ondergrond bij deze twee raaien heeft vrijwel geen invloed op de diepste grondwaterstanden. De G.L.G. wordt bepaald door de verdamping. Die is kennelijk groter dan de aanvoer door de ondergrond.

Op de schorren komen veel diepere grondwaterstanden voor, vaak tussen 1,2 en 1,8 m beneden maaiveld. Nu is daar een zaveldek aanwezig, waardoor de vochtreserve iets groter is, maar dat zaveldek is op de meeste plaatsen betrekkelijk dun. Op de geëgaliseerde schorren ontbreekt de zavel laag plaatselijk geheel. Symptomen van droogte zijn er echter maar weinig waargenomen. Waarschijnlijk gaat de beworteling wel iets dieper dan de zavel laag en de capillaire opstijging is in het fijne zand vrij hoog.

Op het zanddepot is het op het hoge gedeelte in de zomer erg droog met waterstanden van 3 à 3,5 m beneden maaiveld. Het centrale deel ligt ook hoog. Naarmate de hoogte afneemt is de waterstand ten opzichte van maaiveld minder diep (figuur 24). Op het hoge middengedeelte is het verschil tussen zomer- en wintergrondwaterstand betrekkelijk klein. Dat komt doordat de grondwaterstand zo diep staat dat de vegetatie er niet aan kan trekken. De waterstand wordt op het hoge gedeelte geheel bepaald door de aanvoer van neerslag en de afvoer door de grond. Er is altijd een opbollende waterstand.

Op 1,5 m beneden het oorspronkelijke maaiveld zitten ondoorlatende lagen. Hierdoor treedt het water zijdelings uit. Ook in de zomer is dat het geval. Vooral langs de steile helling aan de zuid-westzijde treedt 's zomers steeds water uit. Het is daar ook in de zomer nat met plassen in de laagten.

9. De zouthuishouding

Vóór de afsluiting werden de Slikken tweemaal per dag door het zeewater overspoeld. Het grondwater bestond daardoor uit zeewater.

Na de afsluiting was het met deze dagelijkse overspoeling afgelopen. Door percolatie van regenwater kon zout uitspoelen. Tenminste als de neerslag in de grond kan dringen. Daarvoor moet de grondwaterstand beneden maaiveld staan als het regent en het water moet naar de ondergrond kunnen stromen. Is dat niet het geval doordat het terreingedeelte heel laag en vlak ligt of door de aanwezigheid van ondoorlatende lagen, dan stroomt het regenwater oppervlakkig af en wordt er weinig of geen zout uitgespoeld.

Een gedeelte van de laagliggende Slikken wordt bij Z.W.-storm nog overspoeld met zout water uit het Grevelingenmeer. Dat kan verzilting geven. Deze processen zijn na het droogvallen van grote invloed op de ontwikkeling van de vegetatie in het gebied. Het zal ook nog jaren duren voor de zouttoestand op de Slikken is gestabiliseerd.

Het onderzoek naar het verloop van de zouthuishouding in de grond op de Slikken van Flakkee is vooral in de eerste jaren gericht geweest op de snelheid van ontzilten met als achtergrond de vraag wanneer er ingezaaid kon worden om stuiven tegen te gaan.

9.1. Methode van meten

Verspreid over de Slikken is in de jaren 1972-1978 op 25 à 40 plekken de bodem bemonsterd in het voorjaar en in het najaar. Er is bemonsterd in de lagen 0-5, 5-20 en 20-40 cm beneden maaiveld en op enkele plekken tot 1 m diepte.

Na 1978 is nog slechts incidenteel bemonsterd. In de grondmonsters is het zoutgehalte bepaald.

Op het middengedeelte zijn de plekken in de F-raai voorzien van filterbuisjes, meestal 4 per plek op de dieptes van 1, 2, 3 en 4 m beneden maaiveld. Deze buisjes waren onderaan over een lengte van 0,1 m geperforeerd. Zo konden watermonsters genomen worden uit een bepaalde bodemlaag. In die watermonsters is het zoutgehalte bepaald. Zo kon de groei van de zoutwaterlaag worden nagegaan. Deze bemonstering van het grondwater is gedaan in de jaren 1973-1978.

In de jaren 1978-1981 is in de C-raai nagegaan wat de invloed is van het micro-relief op het zoutgehalte in de grond (Fluyt, 1981). Het verschil in reliëf is ontstaan door instuiven van zand in aangespoelde vegetatieresten. De hoogteverschillen zijn vaak maar 0,1 à 0,2 m. De oppervlakte van de onderzochte kopjes varieert van 2,2 - 4,0 m². Op drie plekken is zowel op een vlak gedeelte als op een kopje bemonsterd in de bodemlagen tot 1 m diepte. Per monster zijn 15 prikken gedaan.

Van 1982-1984 is op vier plekken in de C-raai de invloed van de overspoeling met zout meerwater op het zoutgehalte in het grondwater gemeten. Hiervoor zijn per plek filterbuisjes tot verschillende dieptes geplaatst waaruit monsters van het grondwater zijn genomen.

9.2. Methode van gegevensverwerking

In de grondmonsters zijn het A, B en C-cijfer bepaald.

A = grammen water per 100 gram droge grond

B = grammen NaCl per 100 gram droge grond

C = grammen NaCl per liter bodemvocht

Uit deze cijfers kan het Z-cijfer (= totale hoeveelheid NaCl in grammen) per laag of cumulatief over enkele lagen worden berekend.

Z-cijfer = $10 \times v.g. \times B \times d$

v.g. = volumegewicht van de grond. Voor de Slikken is dat op grond van analyses gesteld op 1,6

B = gram NaCl per 100 gram droge grond

d = laagdikte in dm

Een vaak gebruikte maat is Z 0-40, dat is de totale hoeveelheid NaCl in grammen in de laag 0-40 cm beneden maaiveld per dm^2 .

Het Z 0-40-cijfer is van belang omdat dat gaat over de laag waarin zich ook de beworteling bevindt.

Bij het afsluiten van de Grevelingen was het B-cijfer in de grond gemiddeld 0,7. Dat komt overeen met een Z 0-40-cijfer van ca. 45. De grond is ontzilt als het Z 0-40-cijfer kleiner is dan 1,3. Het B-cijfer is dan < 0,02.

De planten reageren op de zoutconcentratie in het bodemvocht. Voor de afsluiting bevatte het grondwater op de Slikken 16.000-18.000 mg Cl per liter. Dat is de concentratie die er in het zeewater in de Grevelingen voorkwam. Aangenomen is dat de grond ontzilt is bij een concentratie van 1.000 mg Cl per liter bodemvocht.

Het tijdstip waarop het gehalte in het bodemvocht wordt bepaald is het voorjaar. Op dat tijdstip is de concentratie in de bovengrond het laagst door de uitspoeling met de regen in de winterperiode. Door verdamping en capillaire opstijging wordt de zoutconcentratie in de zomer hoger.

9.3. De zouttoestand.

Het Schor

Door de relatief hoge ligging en de afwateringsmogelijkheden via de kreek verliep de ontzilting van de schorren vrij snel.

De Slikken

De zouttoestand op de Slikken hangt af van de hoogteligging, de doorlatendheid van de ondergrond en de afstand tot het water (Deelman, 1975). Uit de verlopen van de zoutgehalten in de grond met de tijd wordt dat duidelijk. In figuur 26 is dat verloop gegeven van enkele plekken in de F-raai waar de ondergrond doorlatend is. De hoogst liggende plekken F 2 en F 5 waren op 1 m diepte al snel ontzilt. De plekken F 3 en F 4 liggen wat lager, maar wat belangrijk is, ze liggen dicht bij een geuluitloper waarin vaak zout water staat. De percolatie en doorstroming naar de ondergrond gaat nu minder snel.

zout op 2 en 3 m diepte ook al snel verdwenen (figuur 27). Op plek F 4 is het langzamer gegaan (figuur 28) en op plek F 3 was er in 1977 op 2 m diepte nog geen zout verdwenen.

Kijken we op enkele van deze plekken naar de bovenlaag (0-40 cm) dan zien we dat in die laag het zout op alle plekken al snel verdwenen was. Ook op plek F 3 waar de ontzilting in de diepere lagen zeer langzaam gaat. Wel is de schommeling daar groter (figuur 29).

Op het gedeelte waar ondoorlatende lagen in de ondergrond voorkomen is het beeld geheel anders. Dat is in de raai F 12 - F 15 nagegaan. Op 1 m diepte was daar in 1978 nog geen zout verdwenen. Op plek F 12 was er zelfs een toename (figuur 30). Doordat deze plek dicht bij het water ligt, is de waterstand in de zomer niet zo diep. Er kan dus veel water verdampen. Het water dat capillair opstijgt is zout en het zout cumuleert in de bovengrond. Ook komt er nog zo nu en dan overspoeling met zout water voor. In de laag van 0-40 cm is er verschil tussen de plekken F 13 en F 15. Op F 15 is er in 1981 ontzilting opgetreden maar op plek F 13 nog niet (figuur 31). Dat komt doordat F 15 iets hoger ligt en dichterbij een geulitloper.

Overspoeling

In de periode 1982-1984 is op de C-raai de invloed van de overspoeling nagegaan. In deze raai komt op 1 à 1,5 m diepte een ondoorlatende laag voor waardoor er vrijwel geen waterbeweging naar beneden plaatsvindt. Op vier plekken in deze raai is het chloridegehalte in het grondwater op verschillende dieptes gemeten. Deze vier plekken lagen op toenemende afstand van het water en daarmee ook op toenemende hoogte. Daardoor loopt de overspoelingsfrequentie uiteen van ca. 1x per week tot geen overspoeling. Dat heeft grote gevolgen voor de zoutconcentratie in het grondwater (figuur 32).

Hoe vaker overspoeling optreedt des te hoger wordt het chloridegehalte. Het wordt zelfs veel hoger dan het was. Er cumuleert dus zout in het profiel. Dat is een tweeledig proces: er is aanvoer van zout door capillair transport en door overspoeling.

In de zomer daalt dicht bij de waterlijn het grondwater regelmatig beneden maaiveld (figuur 8). Die daling wordt veroorzaakt door verdamping. Door capillair transport komt er dan zout water uit de ondergrond omhoog. Het zoutgehalte in de bovenlaag (0-0,1 m) kan daardoor tot grote hoogte oplopen (figuur 33). Hoe dichterbij het water des te vaker wordt door overspoeling de daling teniet gedaan. De aanvulling vindt dan plaats met zout Grevelingenwater dat een chloridegehalte heeft van 10.000-14.000 mg Cl per liter. Met dit water spoelt het zout in het bovenlaagje uit naar het grondwaterniveau en daar treedt cumulatie van zout op. Na de winterperiode is het zoutgehalte bovenin lager dan in de laag 0,6-1,2 m. Op de plekken die vaak overspoeld worden is het Cl-gehalte gelijk aan het meerwater. Is de overspoeling minder vaak dan heeft zoet regenwater ook invloed en is het Cl-gehalte bovenin het profiel lager (figuur 32). Op de hoger liggende delen, waar geen overspoeling met zout water optreedt, vindt de aanvulling van het verdampte water plaats met zoet regenwater. Door de diepere zomergrondwaterstand is het capillair transport niet zo groot. Per saldo is er over een jaar een neerslagoverschot waardoor er zich een zoetwaterlaag vormt.

Micro-reliëf

Een belangrijk aspect bij de ontzilting is het micro-reliëf op de Slikken. Dit is ontstaan door het instuiven van zand in aangespoelde plantenresten. Het blijkt dat de 10 à 20 cm hoger liggende bultjes en richels dieper zijn ontzilt dan het oorspronkelijke vlakke maaiveld (figuur 34). Door de iets hogere ligging is de waterstand in de winter iets dieper en kan er regenwater percoleren. In de aangespoelde vegetatieresten is het vochtgehalte hoger, zodat de onttrekking uit de ondergrond in de zomer lager is.

Er komen veel van dergelijke kleine stuifbultjes voor, vooral op de noordelijke slikken. Er is al een verschil ontstaan in vegetatie tussen de bultjes en het vlakke maaiveld.

Zanddepot

Het zanddepot ligt hoog boven het oorspronkelijke maaiveld. In het goed doorlatende zand percoleert regenwater heel gemakkelijk. Alle zout is daar uitgespoeld. Het water dat zijdelings uittreedt is dan ook zoet. Er doet zich daardoor de situatie voor dat er aan de rand van het zanddepot zoete kwelplassen staan in een gebied dat verder nog grotendeels zout is.

Totaalbeeld

Hoe de zouttoestand ruimtelijk is, is uitgebeeld in de figuren 35 en 36. Daarop is het Z 0-40-cijfer weergegeven naar de metingen in de jaren 1973 en 1978. In die jaren is het grootste aantal plekken bemonsterd. Op het hoogste deel van de Slikken, namelijk langs de schorrand en op het middengedeelte ontzilt de grond, maar langs de oever is een laagliggende strook die zouter wordt (vergelijk figuur 35 en 36). Er is op de Slikken dus gelijktijdig een proces van ontzilting en verzilting gaande. Het zouter worden van de grond vindt plaats in het gedeelte dat lager ligt dan N.A.P. + 0,3 m. Verdamping in de zomer wordt daar gemakkelijk aangevuld uit het ondiepe zoute grondwater. Ook vindt er regelmatig overspoeling plaats met zout meerwater. Er percoleert geen zoet regenwater omdat de grondwaterstand in de natte periode in het maaiveld staat. Het gedeelte van de Slikken dat hoger ligt dan N.A.P. + 0,5 m ontzilt steeds verder. Door percolatie van regenwater ontstaat een steeds dikker zoetwaterlaag op het zoute water in de ondergrond. Hoe beter doorlatend de grond is des te dikker is de zoetwaterlaag. Te verwachten is dat de ontzilting langzaam dieper gaat en verder door-dringt naar de lagere gedeelten.

10. Het kalkgehalte

De kalktoestand van de grond is ook van belang voor de vegetatie. De grond op de Slikken is van nature vrij kalkrijk, 4-6% Ca CO_3 .

Nu kan er kalk uitspoelen. Door chemische rijping (oxydatie van sulfiden) komt er namelijk kalk in oplossing. Regenwater is aanmerkelijk zuurder (pH ca. 4.0) dan grondwater. Door de CO_2 -produktie van plantwortels treedt ook verzuring op.

In maart 1984 is in een aantal watermonsters naast het Cl^- ook het Ca^+ -gehalte bepaald. Dat is gedaan op drie plekken in de C-raai op verschillende dieptes. In figuur 37 is het verloop van het Ca-gehalte met de diepte gegeven. De gegevens geven de indruk dat er in de bovenlaag ont-kalking optreedt. De kalk lijkt dieper uit te spoelen naarmate de afstand van het water groter is. In die richting neemt ook de vegetatie toe.

11. Abiotische milieutypen

De Slikken van Flakkee zijn op grond van de verschillen in abiotische factoren te verdelen in een aantal milieutypen:

1. de schorren
 - 1.1. in oorspronkelijke staat met kreken en oeverwallen
 - 1.2. geëgaliseerd

2. de slikken
 - 2.1. niet overspoeld, doorlatende ondergrond
 - 2.2. niet overspoeld, ondoorlatende ondergrond
 - 2.3. soms overspoeld, doorlatende ondergrond
 - 2.4. soms overspoeld, ondoorlatende ondergrond
 - 2.5. regelmatig overspoeld, doorlatende ondergrond
 - 2.6. regelmatig overspoeld, ondoorlatende ondergrond

3. het zanddepot

4. de kwelstrook rond het zanddepot.

Op figuur 38 is het gebied naar deze milieutypen ingedeeld. In tabel 4 zijn de kenmerken van de verschillende milieutypen aangegeven en de oppervlakte die ze innemen.

De schorren

Op het noordelijke gedeelte liggen schorren waarin nog het oude krekenspatroon ligt. Daardoor is de natuurlijke ontwatering goed. Door het patroon kreek-oeverwal-kom is er een groot verschil in hoogte en daardoor een grote gradiënt in de grondwaterstanden. De bovengrond is lutumrijk, ook al is de zavellaag verschillend van dikte en zwaarte. Het grondwater is zoet.

Op het zuidelijke gedeelte zijn de schorren geëgaliseerd. Daarmee is de natuurlijke ontwatering verstoord. Plaatselijk komt in natte perioden langdurige plasvorming voor. De kreken zijn dichtgeschoven met zavelgrond van de oeverwallen. De zavellaag rondom de kreken is daardoor veel dunner geworden en soms zelfs helemaal verdwenen. Het grondwater is zoet.

De slikken

Op de voormalige slikken wordt de waterhuishouding en de zouthuishouding bepaald door de hoogteligging en de doorlatendheid van de ondergrond.

De hoogteligging bepaalt het wel of niet overspoeld worden met zout meerwater. De hoogte neemt toe met de afstand vanaf het meer. De regelmatige overspoeling komt voor op de laag liggende strook langs het meer.

In deze strook treedt verzilting op. Bij zware storm komt de overspoeling met zout meerwater hoger. Deze maximale overspoeling komt gemiddeld één keer per drie jaar voor.

De doorlatendheid van de ondergrond bepaalt de waterbeweging door de grond. Op het grootste gedeelte van de slikken begint op ca. 1 à 1,5 m beneden maaiveld een vrijwel ondoorlatende klei- en veenlaag. Ontbreekt deze laag dan daalt de grondwaterstand na een natte periode sneller en dieper. Het regenwater percoleert er beter en het zout spoelt sneller uit.

Het zanddepot

Het zanddepot heeft een eigen waterhuishouding. Door de hoge ligging ten opzichte van het omringende gebied en de goede doorlatendheid van het zand is het er zomer en winter droog.

De kwelstrook rond het zanddepot

Rondom het zanddepot ligt een smalle kwelstrook die gevoed wordt met water dat uit het hoog liggende zanddepot treedt. Het is daar altijd nat. Ook in de zomer staan er nog vaak plassen.

Tabel 4. Slikken van Flakkee, voorkomende milieutypen met kenmerken

Milieutype	bodem	hoogte, m t.o.v. N.A.P.	G.H.G., m t.o.v. maaiveld	G.L.G., m t.o.v. maaiveld	Zouttoe- stand grondwater	Oppervlakte in ha
1. Schorren	<u>zavel 20-60 cm</u>	1,0 ⁺ -1,5 m ⁺	0,02 ⁻ -0,4 ⁻	1,5 ⁻ -1,8 ⁻	zoet	100
1.1. oorspronkelijke staat	zand, U=120					
1.2. geëgaliseerd	<u>zavel 2-20 cm</u> zand, U=120	1,4 ⁺ -1,6 m ⁺	0,05 ⁺ -0,2 ⁻	1,2 ⁻ -1,5 ⁻	zoet	250
2. Slikken niet overspoeld		0,6 ⁺ -1,0 m ⁺				
2.1. doorlatend	zand, U=100-110		0,1 ⁻ -0,3 ⁻	1,0 ⁻ -1,2 ⁻	zoet	130
2.2. ondoorlatend	<u>zand, U=100-110</u> >1 à 1,5 m klei+veen		0,0 ⁺ -0,1 ⁻	1,0 ⁻ -1,2 ⁻	<u>zoet 0,6 m</u> zout	160
soms overspoeld		0,4 ⁺ -0,6 ⁺				
2.3. doorlatend	zand, U=100		0,05 ⁻ -0,2 ⁻	1,0 ⁻ -1,2 ⁻	zoet	150
2.4. ondoorlatend	<u>zand, U=100</u> > 1 à 1,5 m klei+veen		0,02 ⁺ -0,05 ⁻	1,0 ⁻ -1,2 ⁻	<u>zoet 0,4 m</u> zout	200
regelmatig overspoeld		0,2 m ⁻ -0,4 m ⁺				
2.5. doorlatend	zand, U=90-100		0,05 ⁺ -0 ⁻	0,6 ⁻ -0,9 ⁻	<u>zoet 0,1 m</u> zout	100 320
2.6. ondoorlatend	<u>zand, U=90-100</u> > 1,0 m klei+veen		0,10 ⁺ -0,02 ⁺	0,6 ⁻ -0,9 ⁻	zout	
3. Zanddepot	zand, U=80	2,0 ⁺ -6,0 m ⁺	1,0 ⁺ -3,5 ⁻	2,0 ⁻ -4,0 ⁻	zoet	30
4. Kwelstrook rond zanddepot	<u>zand, U=110</u> > 1,5 m klei+veen	0,6 m ⁺	0,20 ⁺ -0,05 ⁻	0 ⁺ -0,4 ⁻	zoet	5

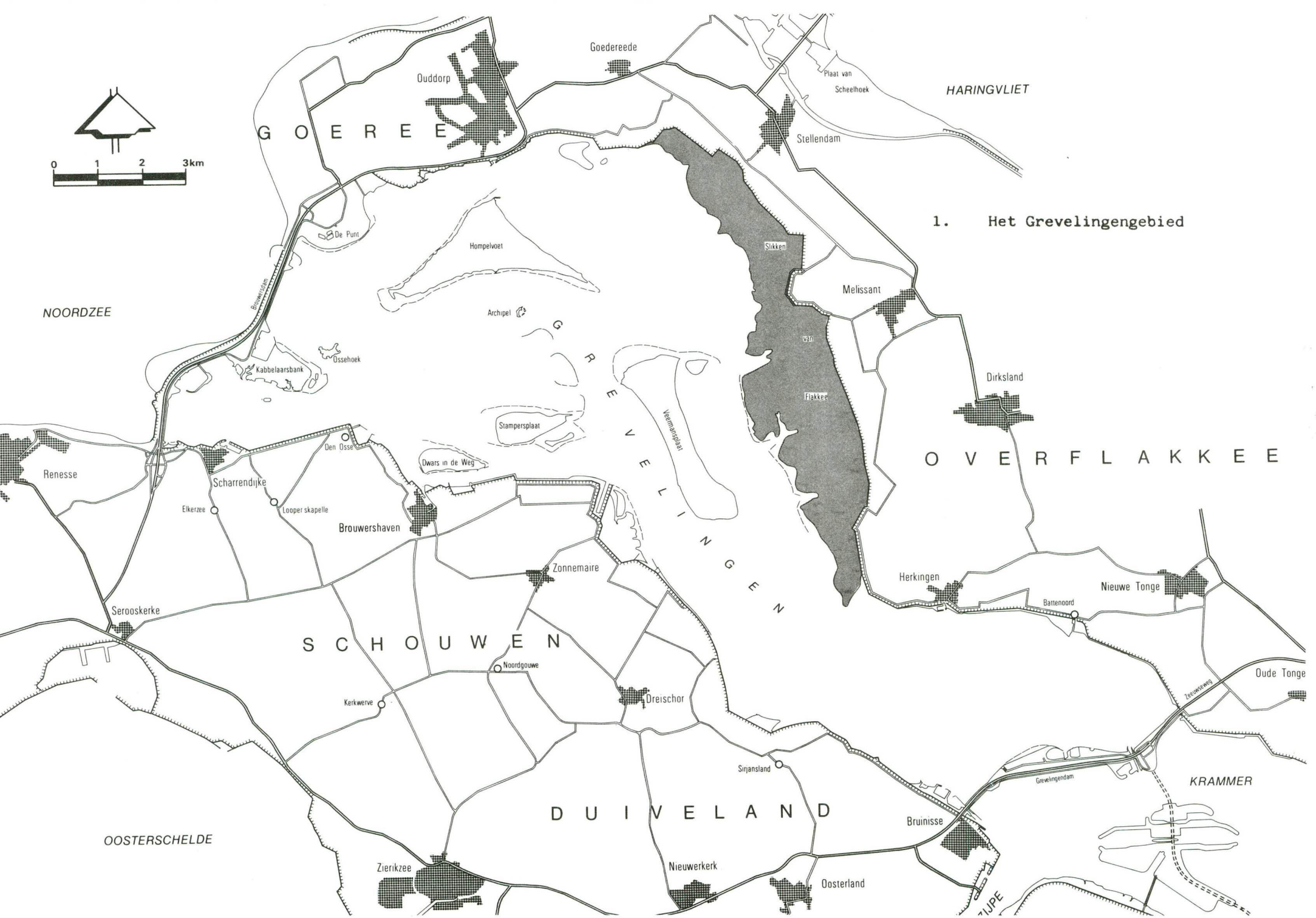
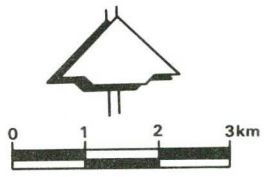
Literatuur

- Anonymus 1982 Programma van eisen Slikken van Flakkee.
R.IJ.P.-rapport 1982-30 Abg/Abw.
- Deelman, C 1975 De ontziltling van drooggevallen zandgronden in het Grevelingenbekken t/m voorjaar 1973.
Cultuurtechnisch Tijdschrift jg. 14, 185-195.
- Fluyt, D.J. 1981 De invloed van het micro-reliëf op de ontziltling op de Slikken van Flakkee.
Werkdokument 1981-225 Abw.
- Jansen, W.J. 1977 Ontziltling en herverziltling op de Slikken van Flakkee 1972-1976.
Scriptie L.H. Wageningen.
- Vaate, S.J. bij de 1981 De bodemkundige codekaart van slikken en platen in het Grevelingenbekken.
RIJP-rapport 1981-39 Abw

LIJST VAN FIGUREN

1. Het Grevelingengebied
2. De Slikken van Flakkee, gebiedskenmerken
3. Slikken van Flakkee. Hoogteligging ten opzichte van N.A.P., de waarnemingsplekken en de grens van de maximale overspoeling bij zware storm (26-11-1983)
4. Doorsnede van schorrand - kom - oeverwal - kreek met hoogteligging en bodemsamenstelling
5. Hoogteligging van het zanddepot in cm t.o.v. NAP
6. Begindiepte van de ondoorlatende lagen
7. De bodemkundige codekaart van de laag 0-0,8 m beneden maaiveld
8. Grondwaterstandsverloop op de plekken C 1 en F 12 in 1979.
9. Het verband tussen de gemiddelde grondwaterstanden berekend uit een waarnemingsperiode van 3 jaar en die uit een waarnemingsperiode van minstens 8 jaar
10. Grondwaterstandsverloop op plek C 3 in 1975 en de neerslag per decade
11. Grondwaterstandsverloop op plek C 3 in 1982 en de neerslag per decade
12. Grondwaterstandsverloop op plek A 4 over de periode 1972-1983
13. Grondwaterstandsverloop op plek C 2 over de periode 1972-1983
14. Grondwaterstandsverloop op plek C 3 over de periode 1972-1983
15. Grondwaterstandsverloop op plek C 6 over de periode 1972-1983
16. Grondwaterstandsverloop op plek F 6 over de periode 1972-1983
17. Grondwaterstandsverloop op plek C 3 in 1979
18. Grondwaterstandsverloop op plek F 6 in 1979
19. Het verband tussen de hoogteligging van het maaiveld boven het meerpeil en de gemiddelde hoogste (G.H.G.) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (G.L.G.), op plekken met ondoorlatende (A) en doorlatende ondergrond (B).
20. Het verband tussen de hoogteligging van het maaiveld boven het meerpeil en de gemiddelde wintergrondwaterstand (G.W.G.) en de gemiddelde zomergrondwaterstand (G.Z.G.) op plekken met een ondoorlatende (A) en doorlatende ondergrond (B).

21. De gemiddelde hoogste grondwaterstand (G.H.G.) op de Slikken van Flakkee
22. De gemiddelde wintergrondwaterstand (G.W.G.) op de Slikken van Flakkee
- 23A. Doorsnede van raai C met maaiveldshoogte en grondwaterstanden.
- 23B. Doorsnede van raai F met maaiveldshoogte en grondwaterstanden.
- 24A. Doorsnede van het zanddepot van zuid-noord, met hoogteligging en grondwaterstanden.
- 24B. Doorsnede van het zanddepot van oost-west, met hoogteligging en grondwaterstanden.
25. De gemiddelde laagste grondwaterstand (G.L.G.) op de Slikken van Flakkee.
26. Het verloop van het zoutgehalte in het grondwater op 1 m diepte in de periode 1971-1981 op plekken met een doorlatende ondergrond.
27. Het verloop van het zoutgehalte in het grondwater op verschillende dieptes in de periode 1971-1981 op plek F 2.
28. Het verloop van het zoutgehalte in het grondwater op verschillende dieptes in de periode 1971-1981 op plek F 4.
29. Het verloop van de totale zouthoeveelheid in de bodemlaag 0-0,4 m op de plekken F 1, F 3 en F 4.
30. Het verloop van het zoutgehalte in het grondwater op 1 m diepte in de periode 1971-1981 op plekken met een ondoorlatende ondergrond.
31. Het verloop van de totale zouthoeveelheid in de bodemlaag 0-0,4 m op de plekken F 13 en F 15.
32. Zoutgehalte in het grondwater aan het einde van de winter op plekken met verschillen in overspoelingsfrequentie.
33. Zoutgehalte in het bodemvocht aan het einde van de zomer op plekken met verschillen in overspoelingsfrequentie.
34. Het verloop van het zoutgehalte in het grondwater met de diepte onder vlak maaiveld en onder een stuifbultje op drie plekken op verschillende afstand vanaf het water.
35. De zouttoestand op de Slikken van Flakkee in het voorjaar van 1973 uitgedrukt in Z 0-40 (totale hoeveelheid zout in de laag 0-0,4 m).
36. De zouttoestand op de Slikken van Flakkee in het voorjaar van 1978, uitgedrukt in Z 0-40 (totale hoeveelheid zout in de laag 0-0,4 m).
37. Het verloop van het Ca-gehalte in het grondwater met de diepte gemeten op 5-3-'84 op 3 plekken op verschillende afstand van het water.
38. Slikken van Flakkee, indeling van het gebied in abiotische milieutypen.



1. Het Grevelingengebied

SCHOUWEN

DUIVELAND

GOEREE

OVERFLAKKEE

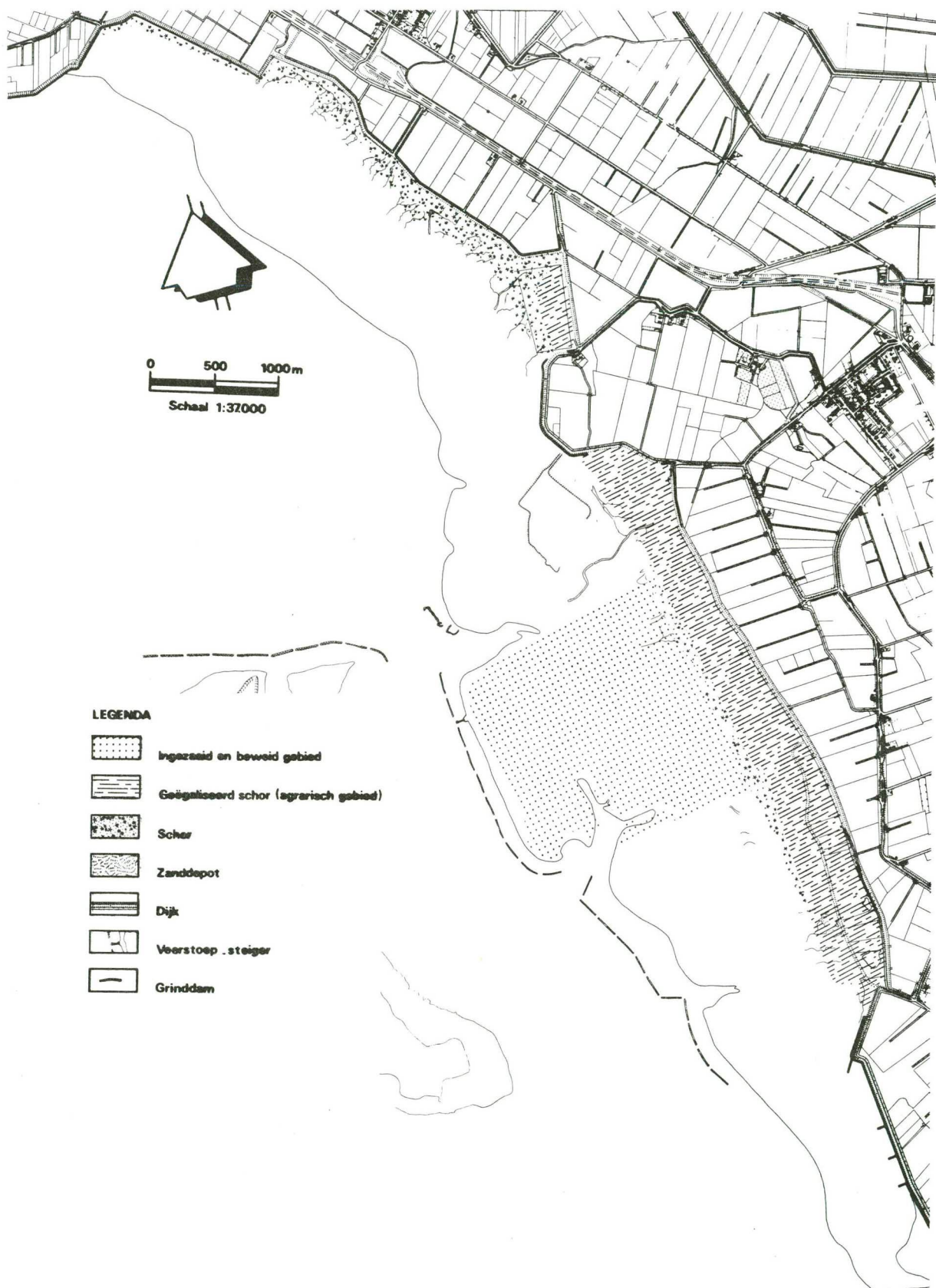
HARINGVLIET

KRAMMER

NOORDZEE

OOSTERSCHDELDE

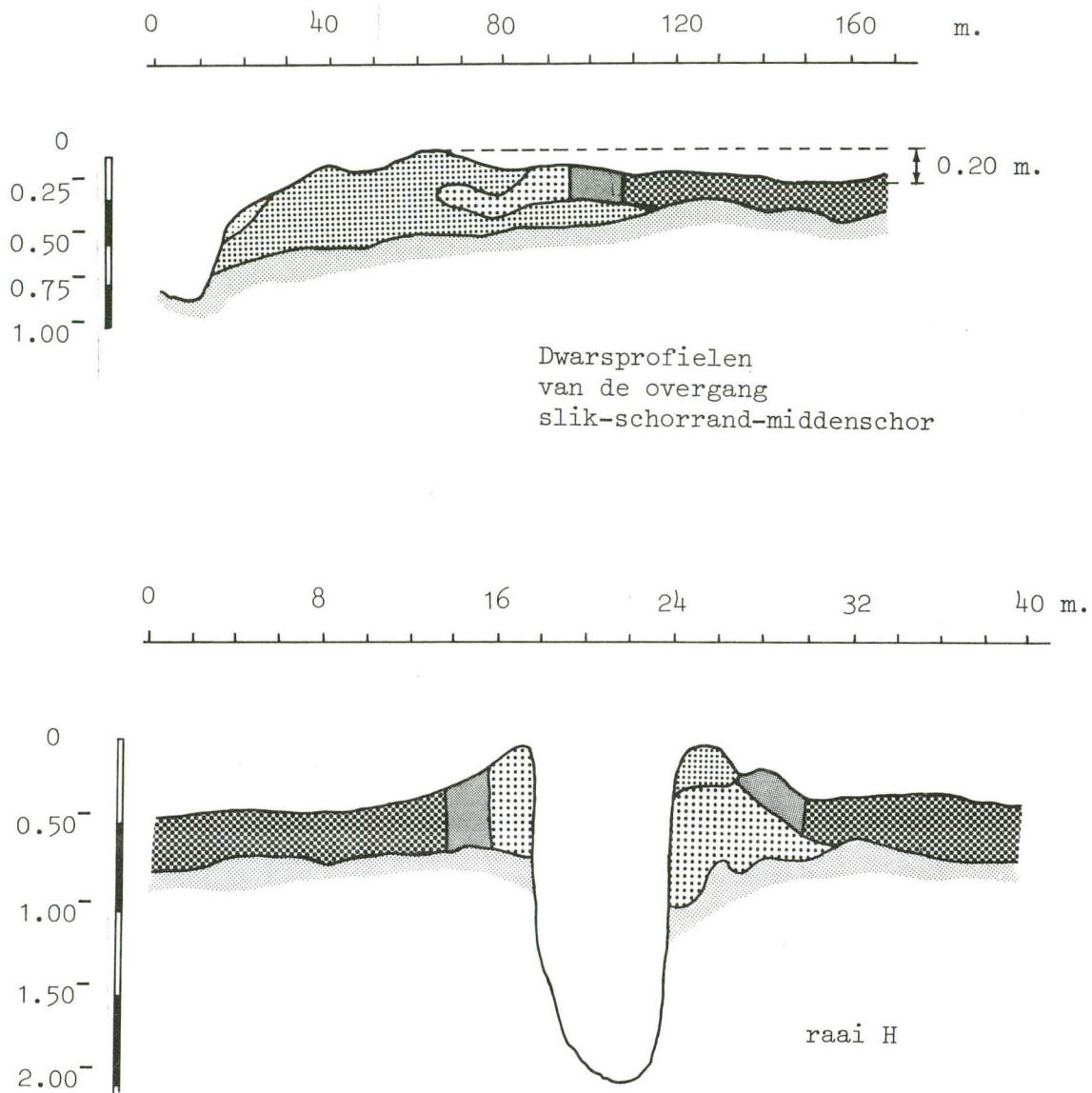
TUPE




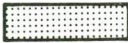




0 500 1000m
Schaal 1:37000

LEGENDA

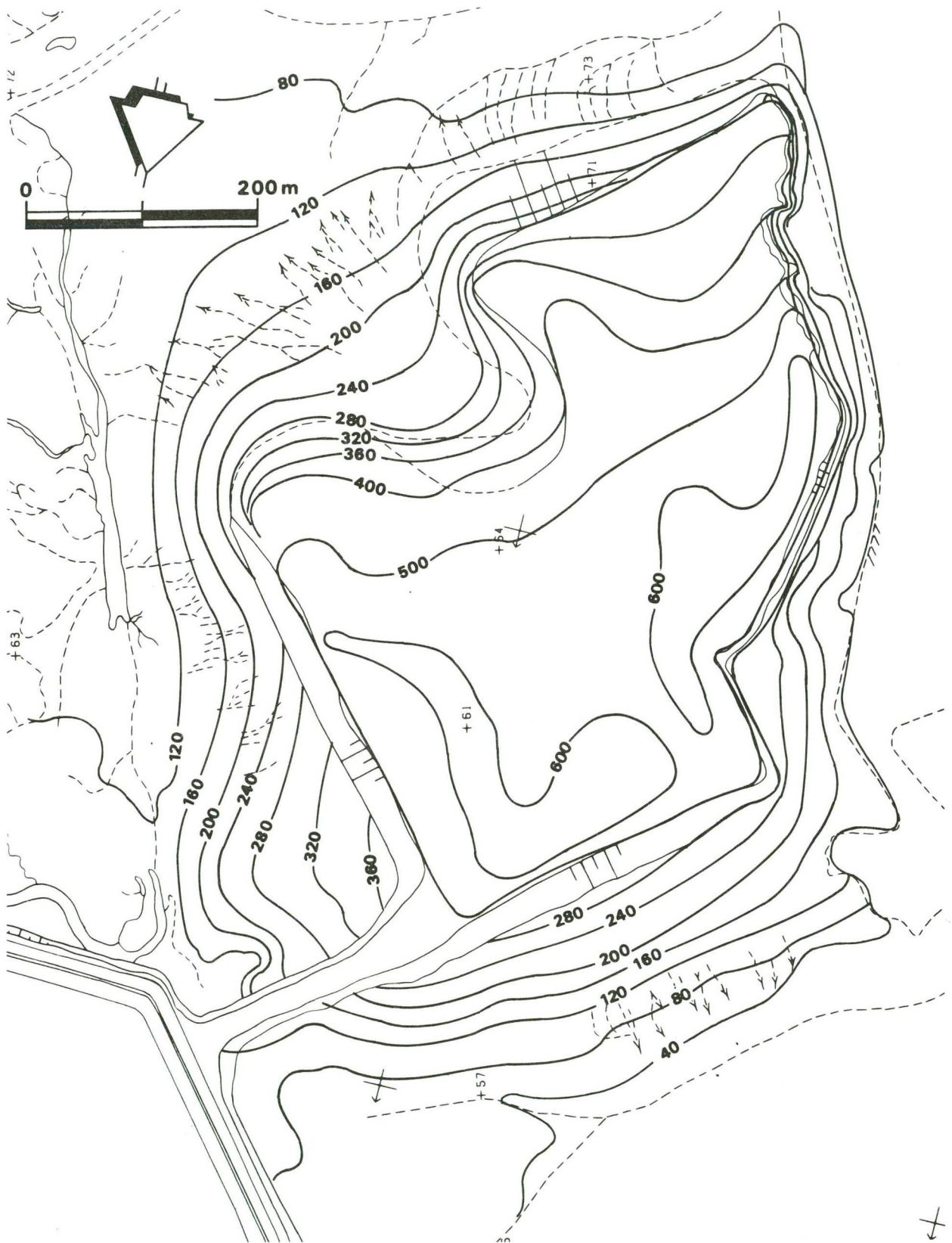
-  Ingezaaid en beweid gebied
-  Geziltoeerd schor (agrarisch gebied)
-  Scher
-  Zanddepot
-  Dijk
-  Veerstoep . steiger
-  Grinddam



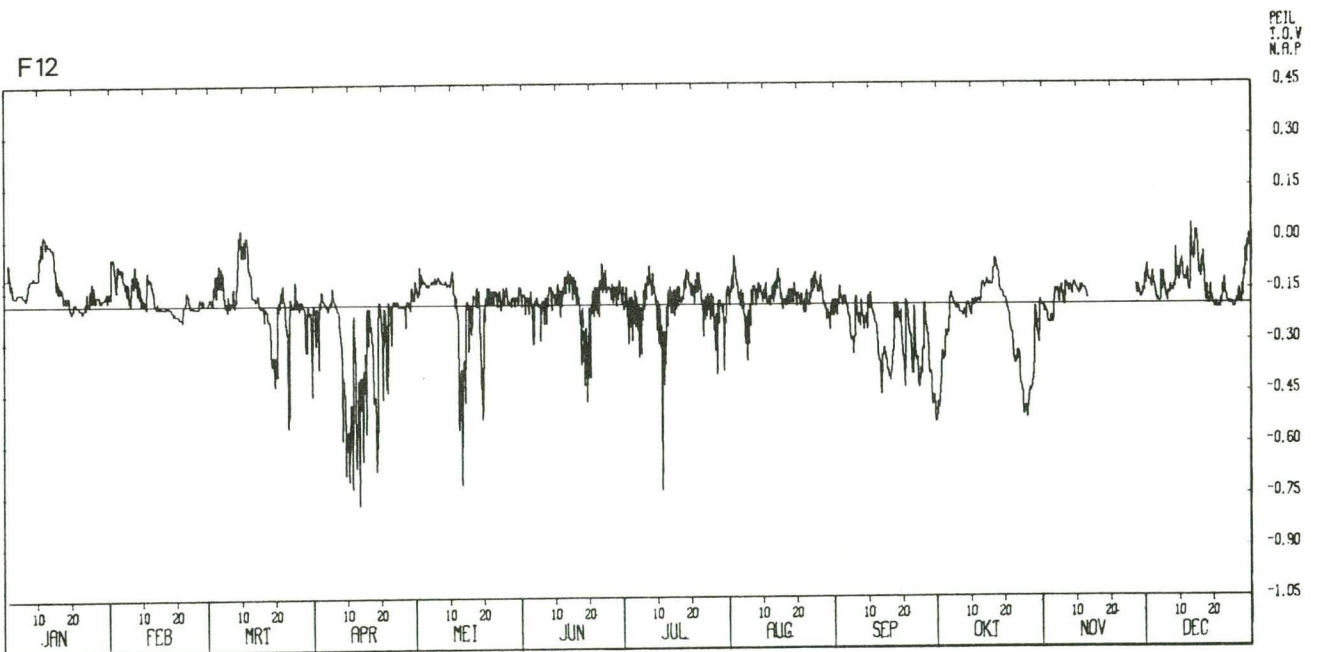
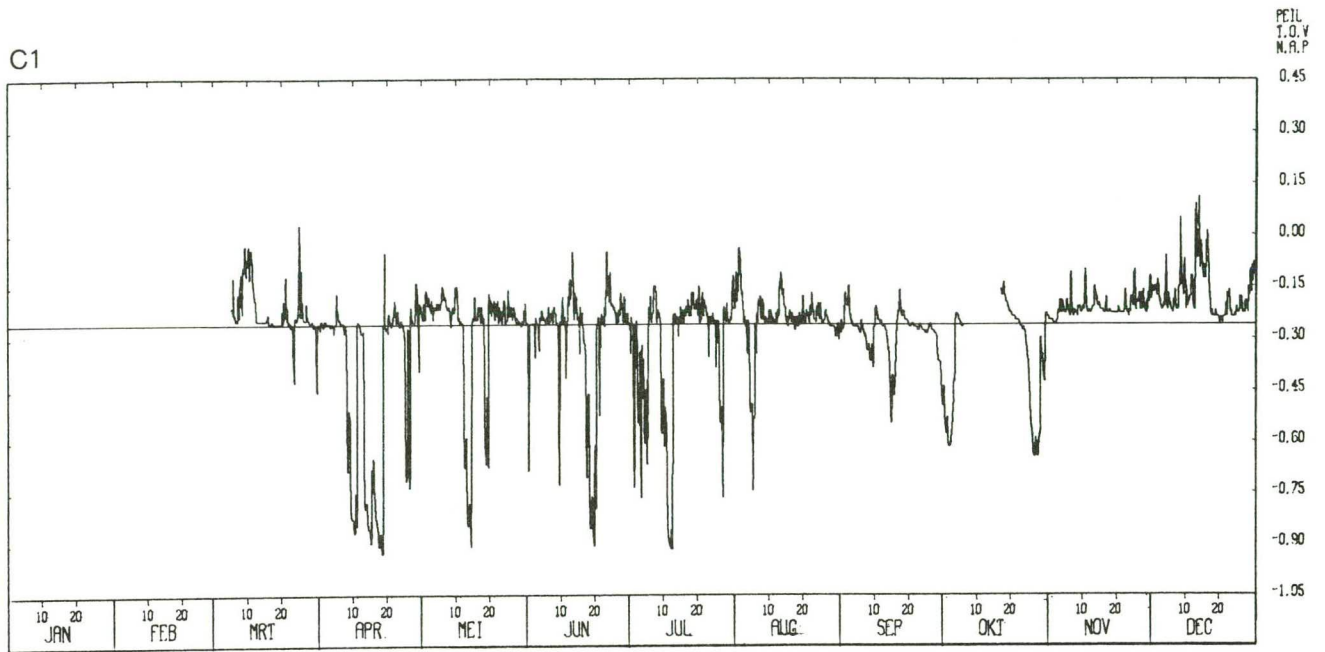
LEGENDA:

	kleiarm zand B	1½ - 3
	kleihoudend zand A	3 - 5
	lichte zavel A	5 - 8
	lichte zavel B	8 - 12
	zware zavel A	12 - 17
	zware zavel B	17 - 25

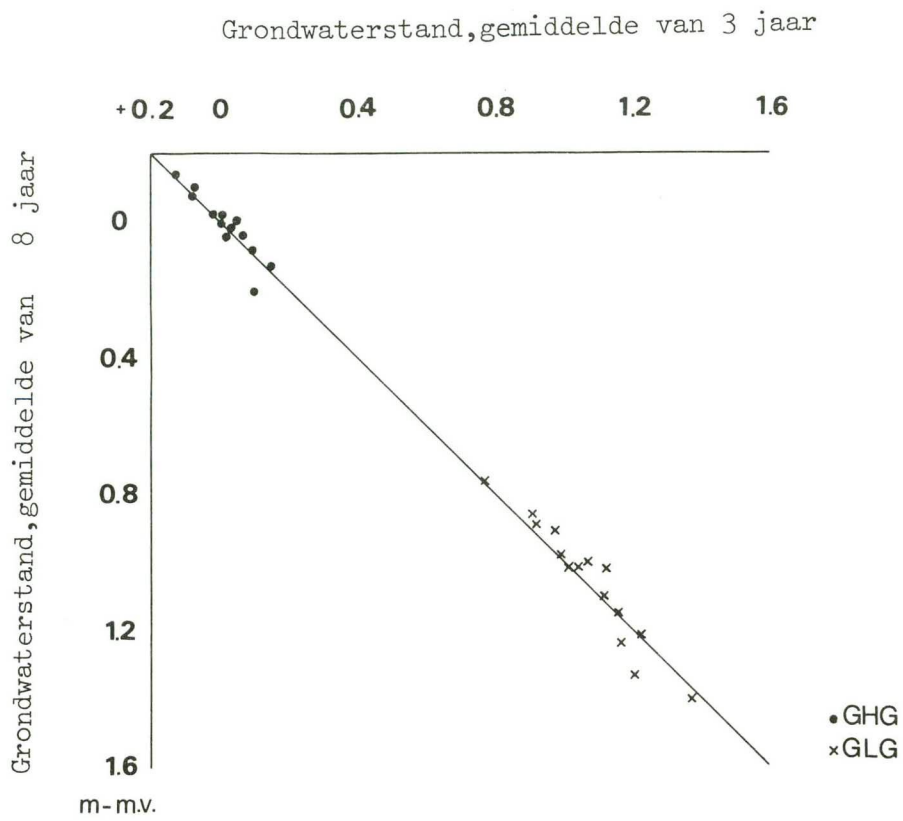
Figuur 4. Doorsnede van schorrand-kom-oeverwal-kreek met hoogteligging en bodemsamenstelling.



Figuur 5. Hoogteligging van het zanddepot

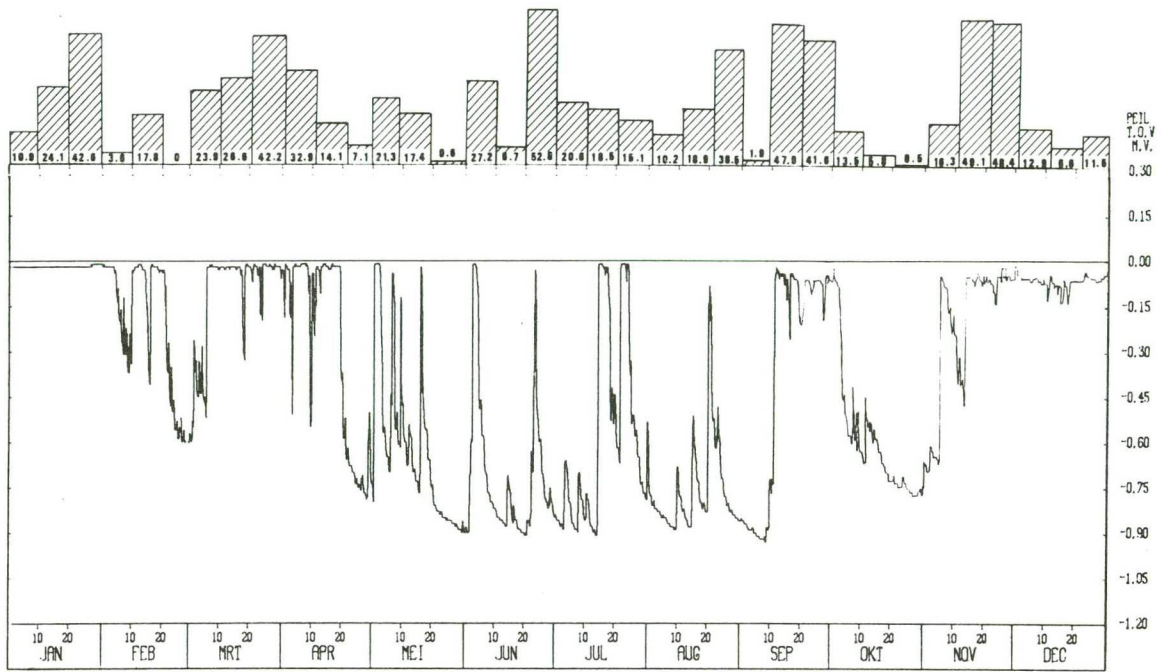


Figuur 8. Grondwaterstandsverloop op de plekken C 1 en F 12 in 1979



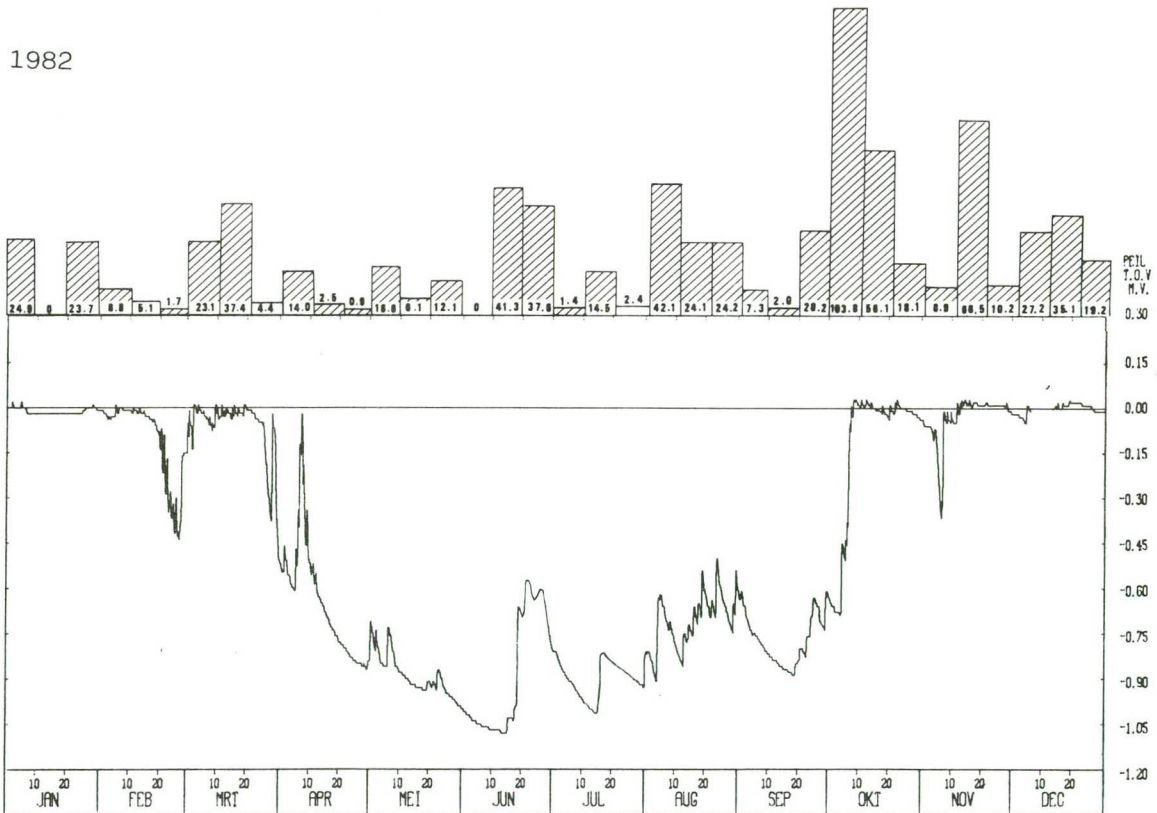
Figuur 9. Het verband tussen de gemiddelde grondwaterstanden berekend uit een waarnemingsperiode van 3 jaar en die uit een waarnemingsperiode van minstens 8 jaar

1975

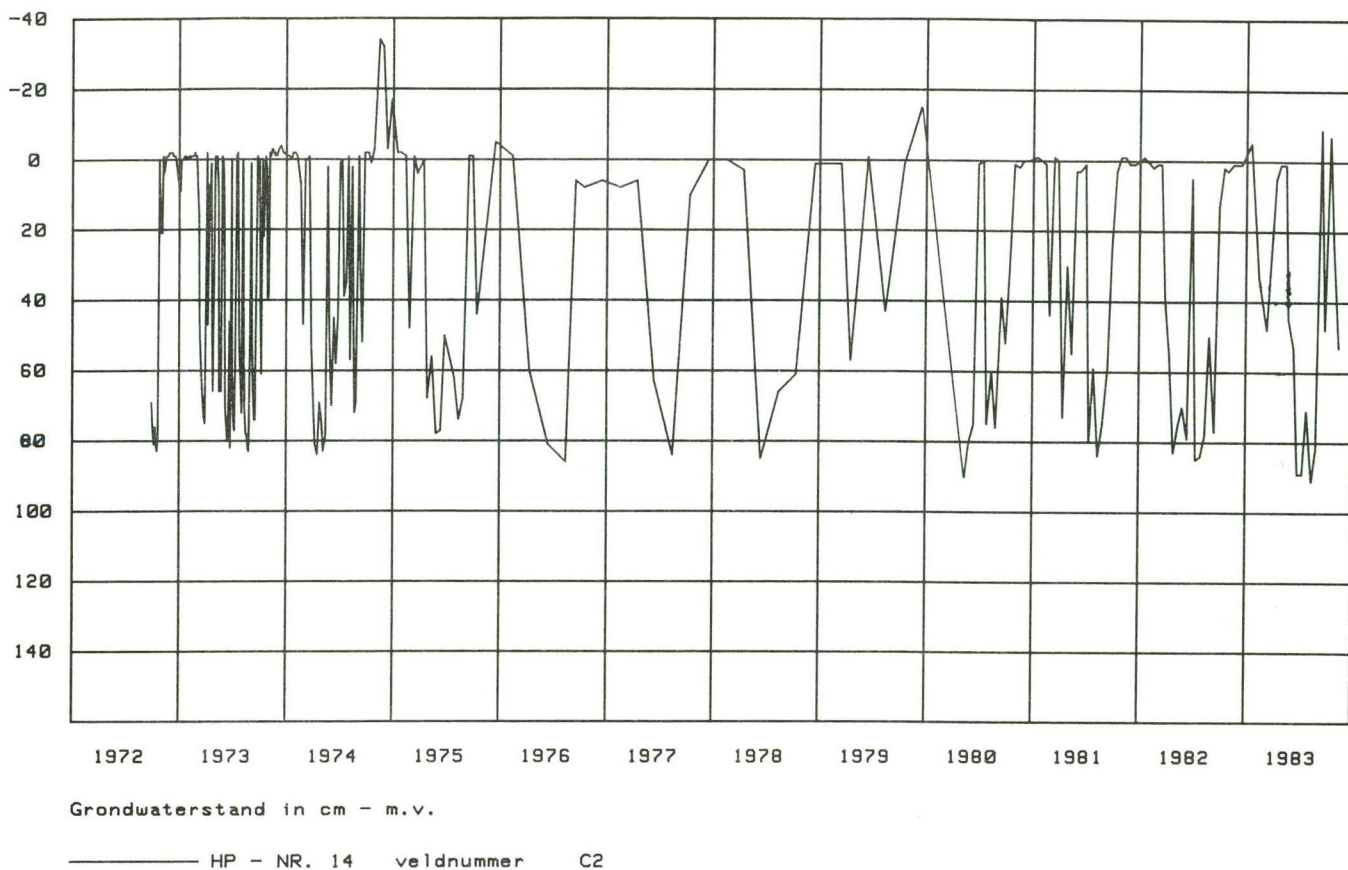


Figuur 10. Grondwaterstandsverloop op plek C 3 in 1975 en de neerslag per decade

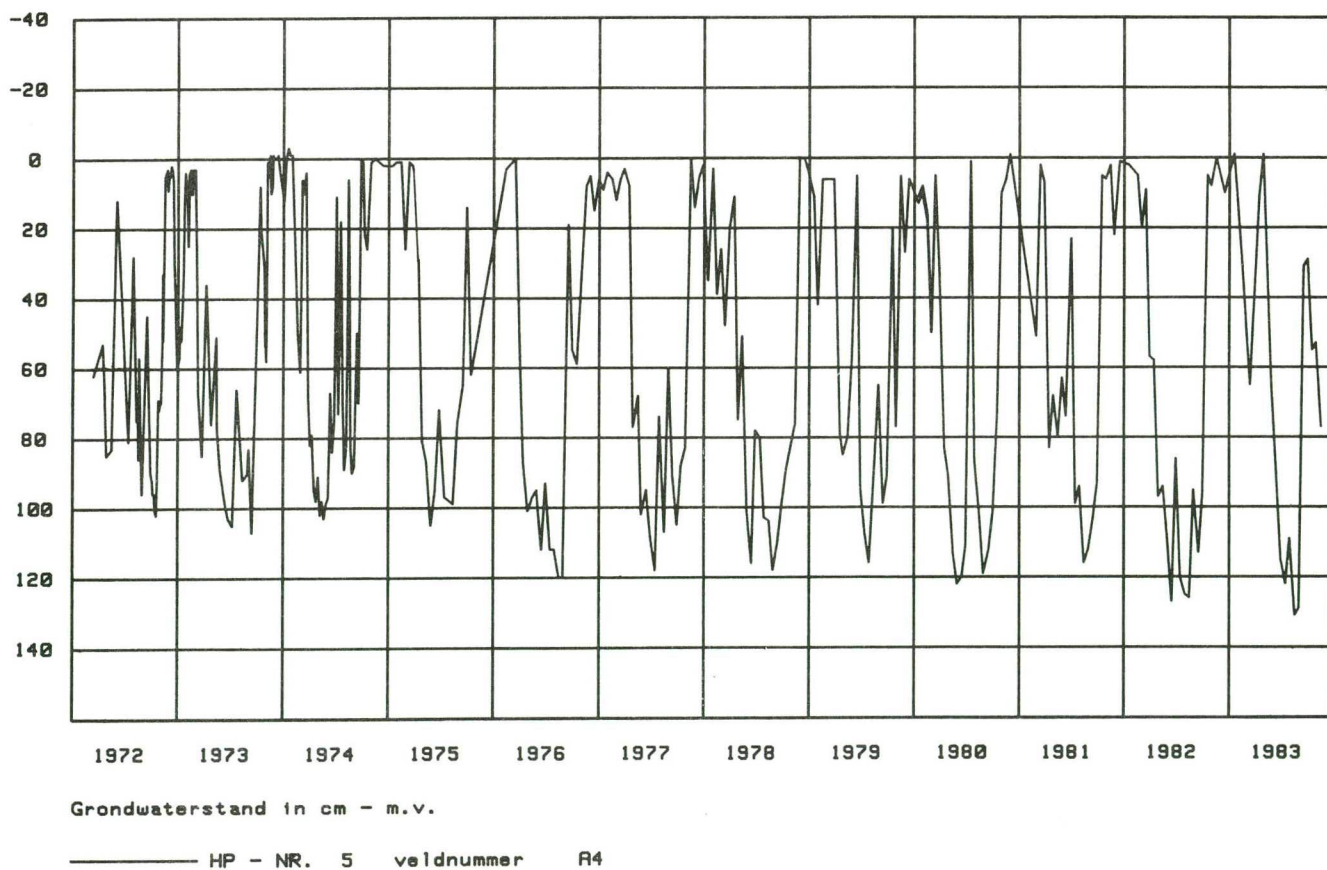
1982



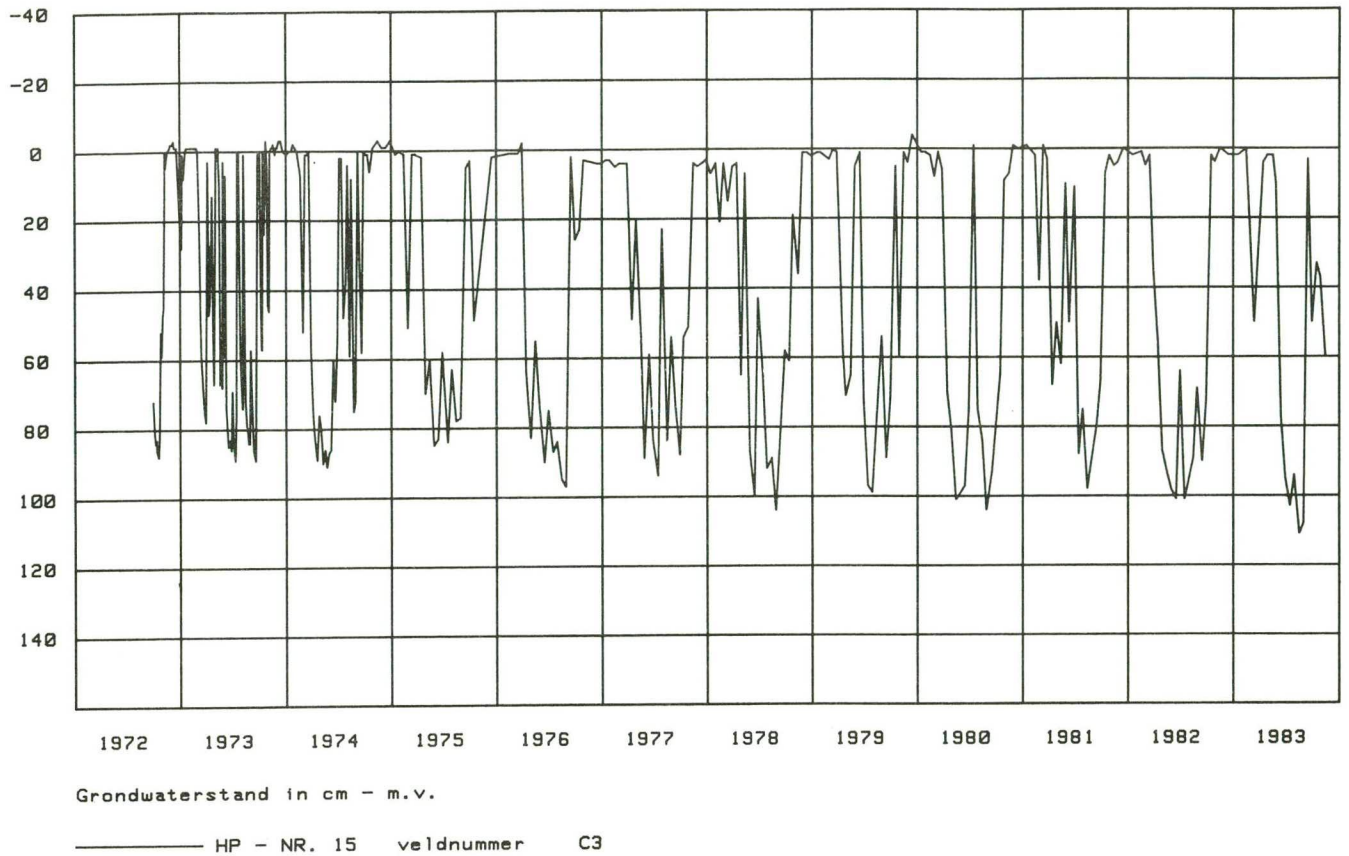
Figuur 11. Grondwaterstandsverloop op plek C 3 in 1982 en de neerslag per decade



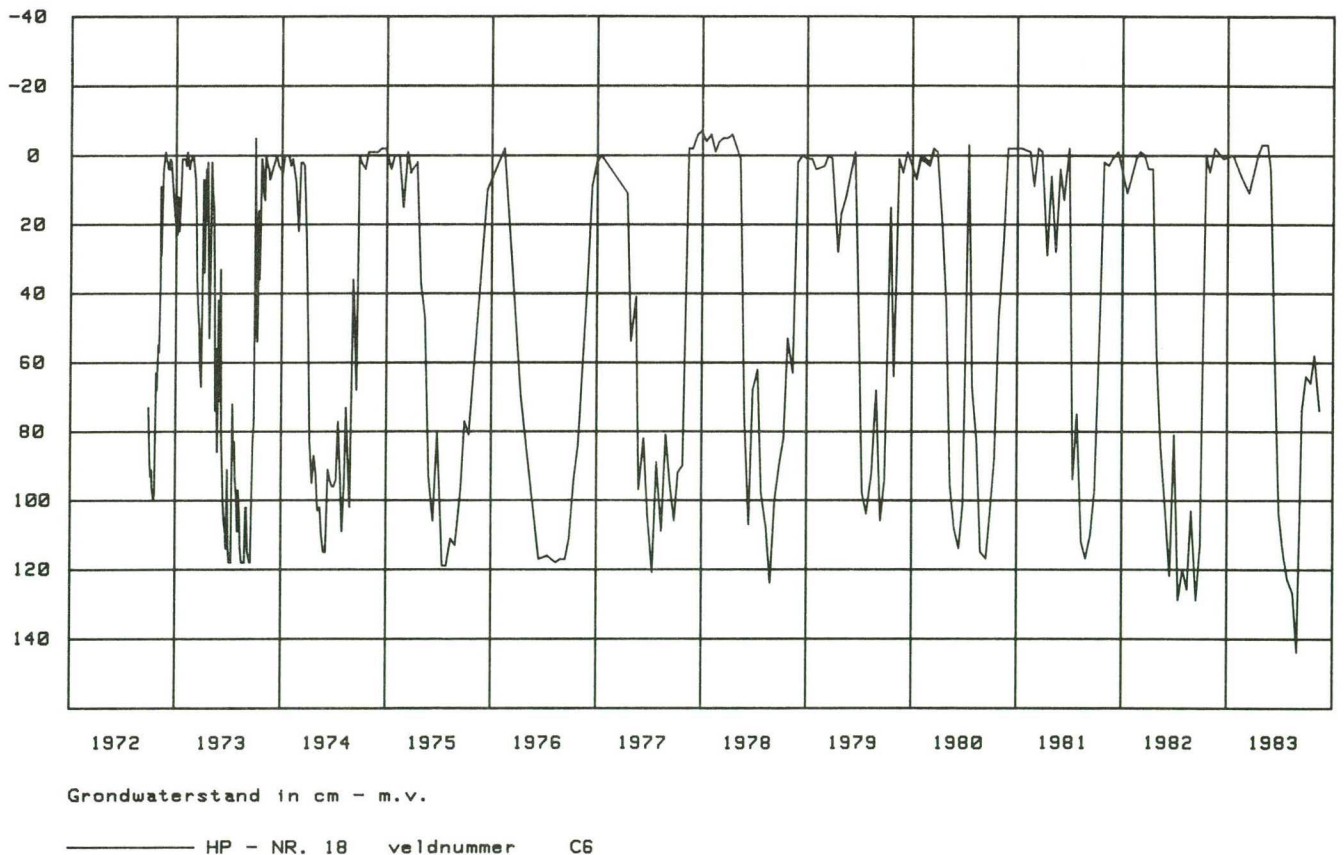
Figuur 13. Grondwaterstandsverloop op plek C 2 over de periode 1972-1983



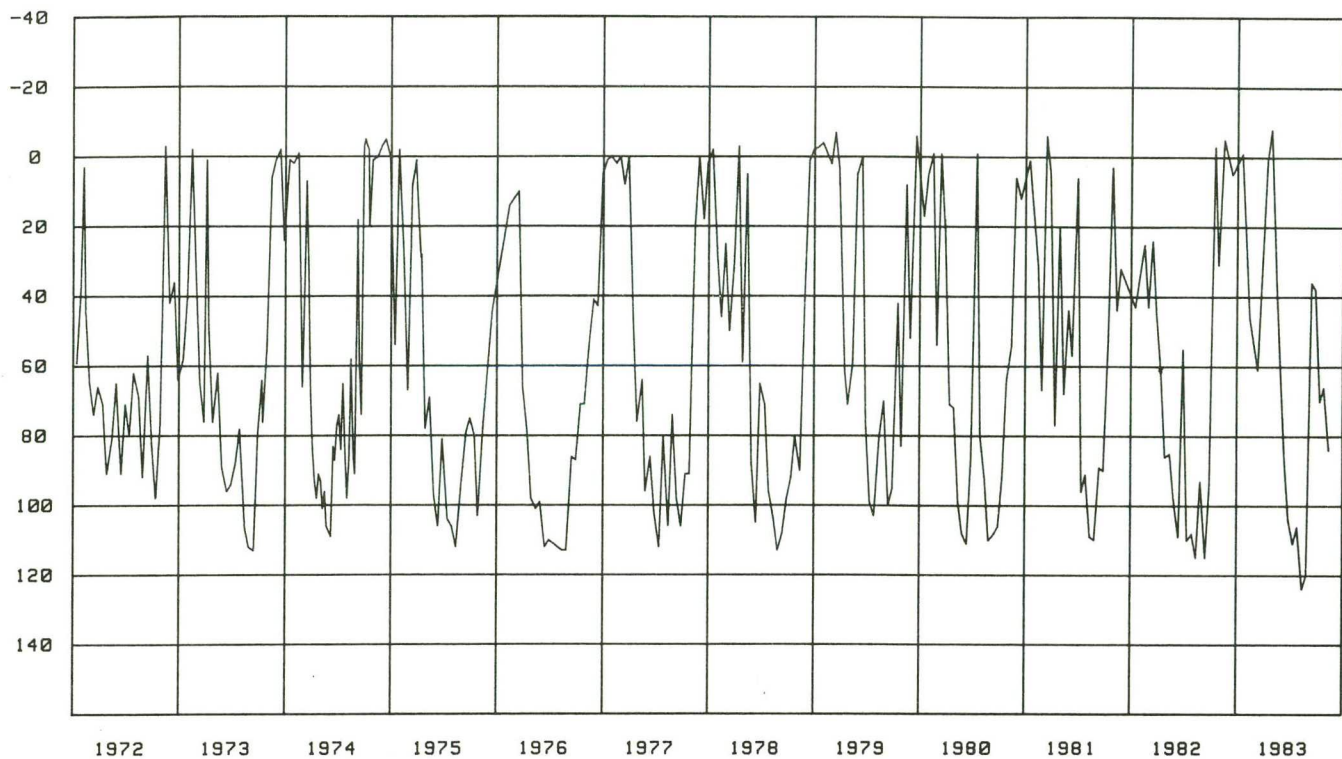
Figuur 12. Grondwaterstandsverloop op plek A 4 over de periode 1972-1983



Figuur 14. Grondwaterstandsverloop op plek C 3 over de periode 1972-1983.



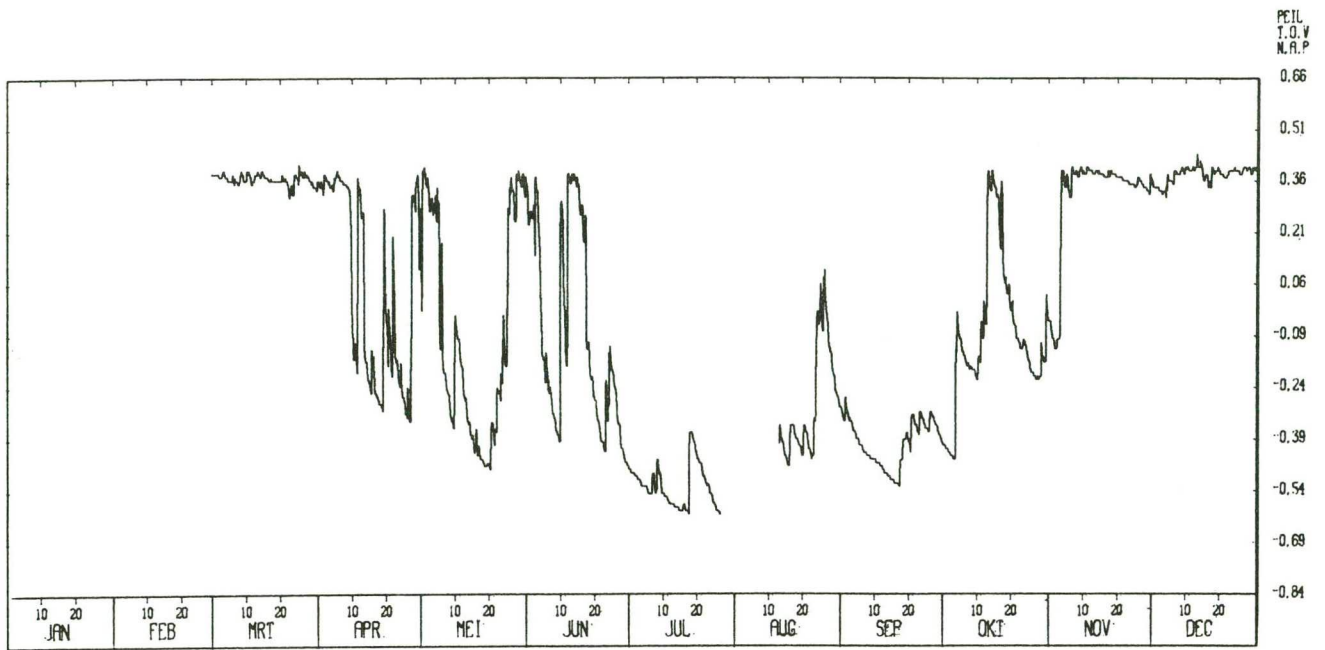
Figuur 15. Grondwaterstandsverloop op plek C 6 over de periode 1972-1983.



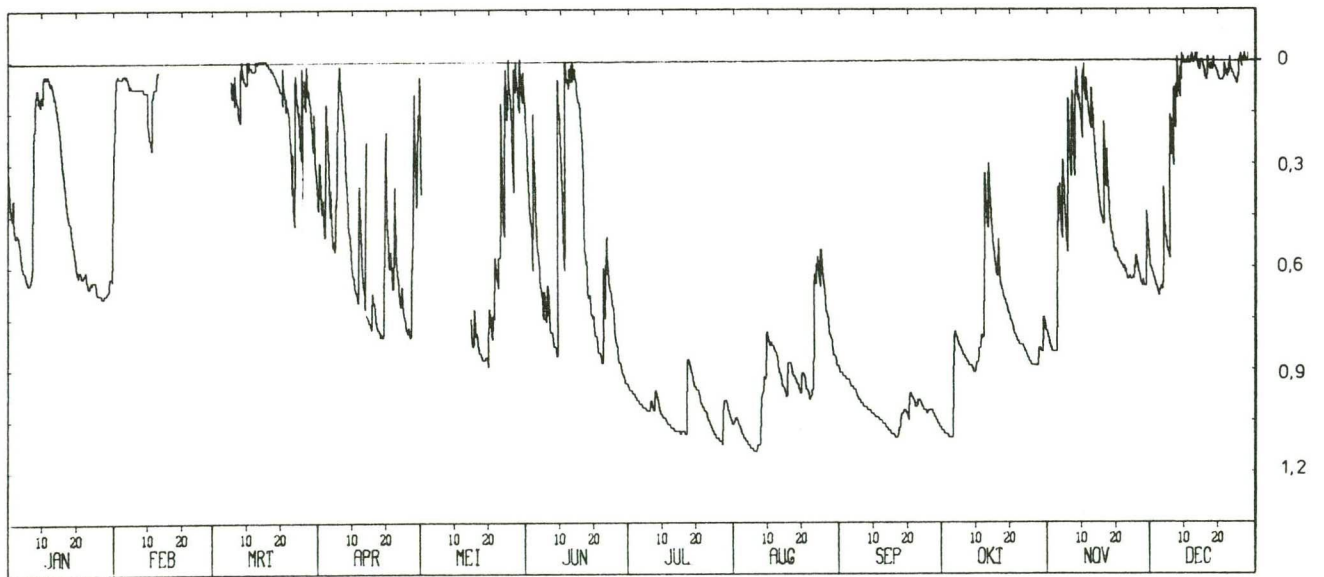
Grondwaterstand in cm - m.v.

— HP - NR. 12 veldnummer 1F6

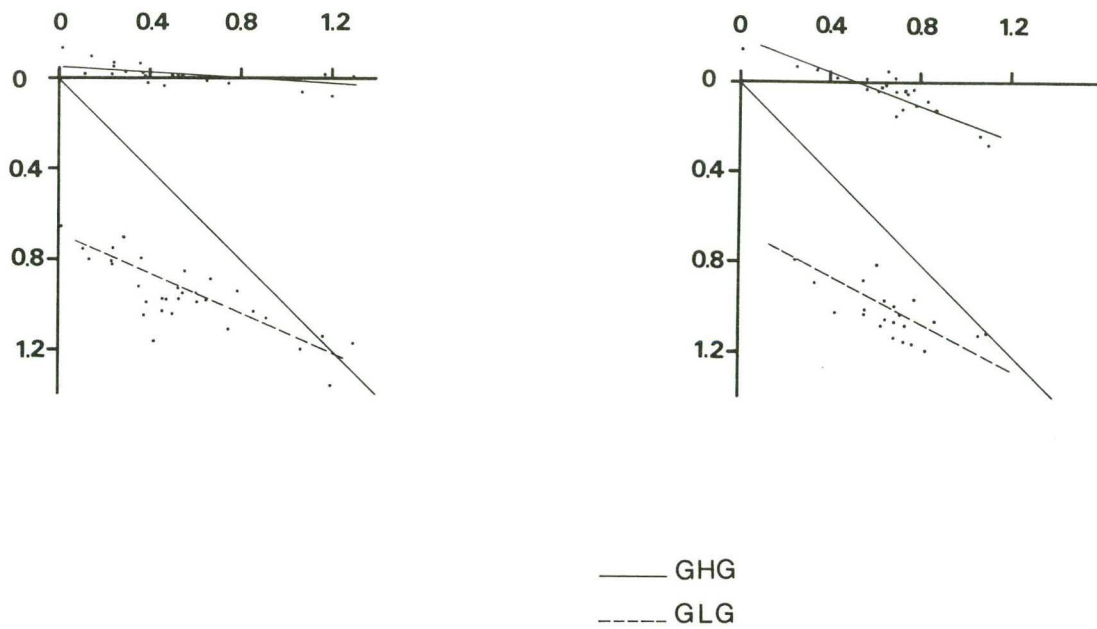
Figuur 16. Grondwaterstandsverloop op plek F 6 over de periode 1972-1983



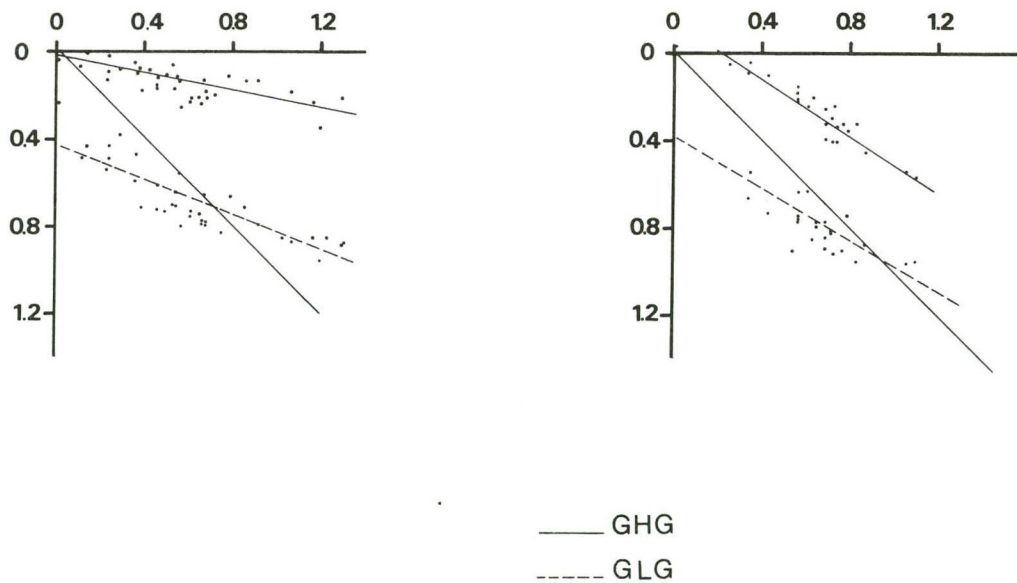
Figuur 17. Grondwaterstandsverloop op plek C 3 in 1979



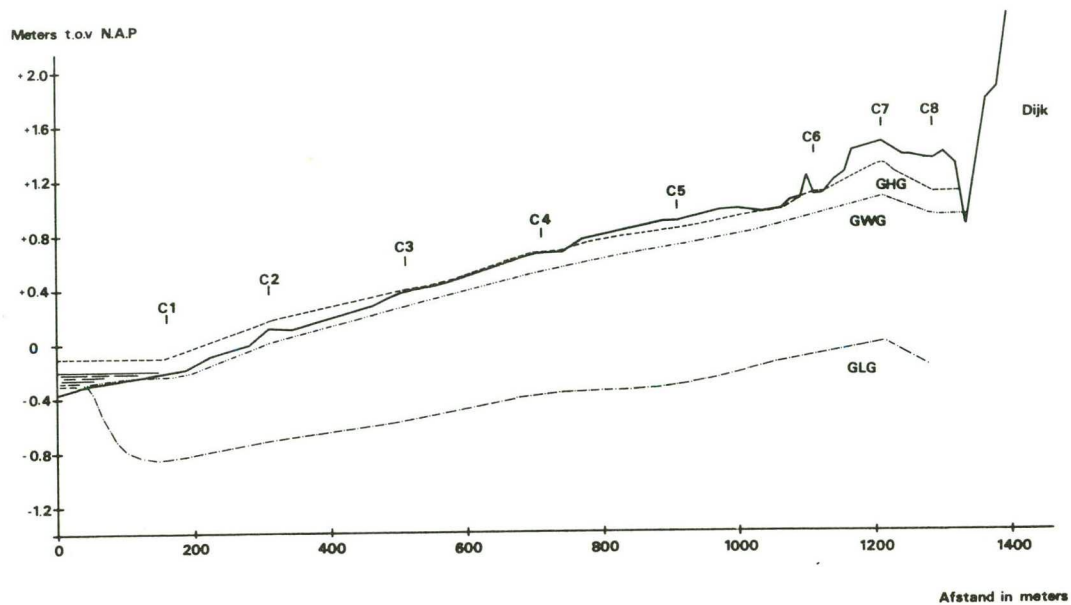
Figuur 18. Grondwaterstandsverloop op plek F6 in 1979



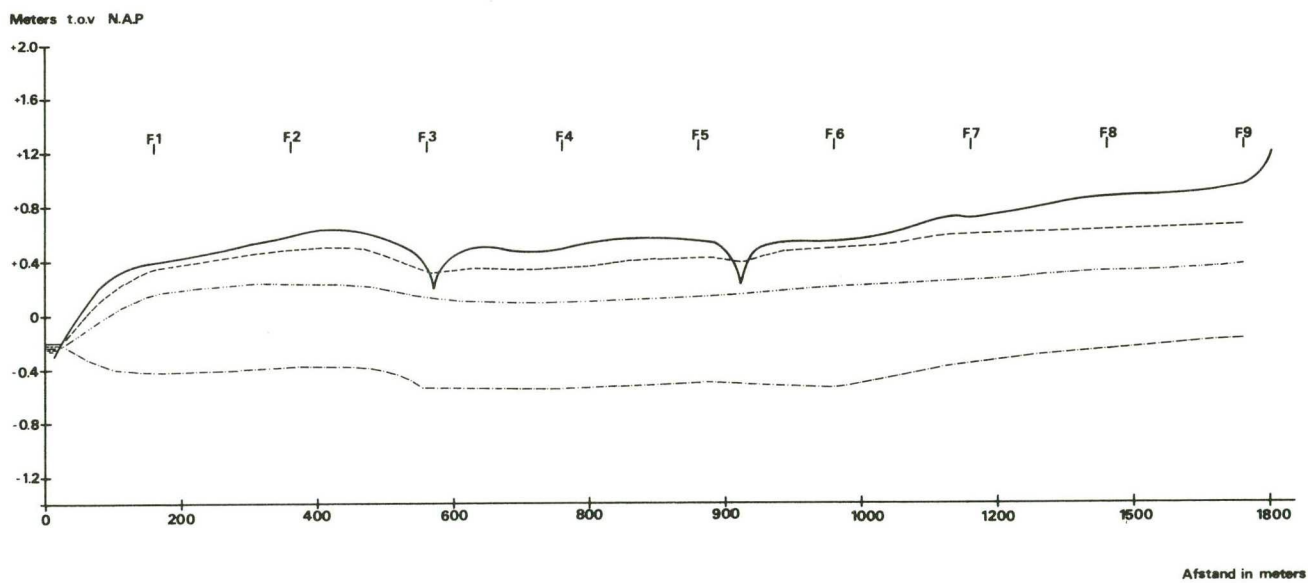
Figuur 19. Het verband tussen de hoogteligging van het maaiveld boven het meerpeil en de gemiddelde hoogste (G.H.G.) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (G.L.G.), op plekken met doorlatende en ondoorlatende ondergrond



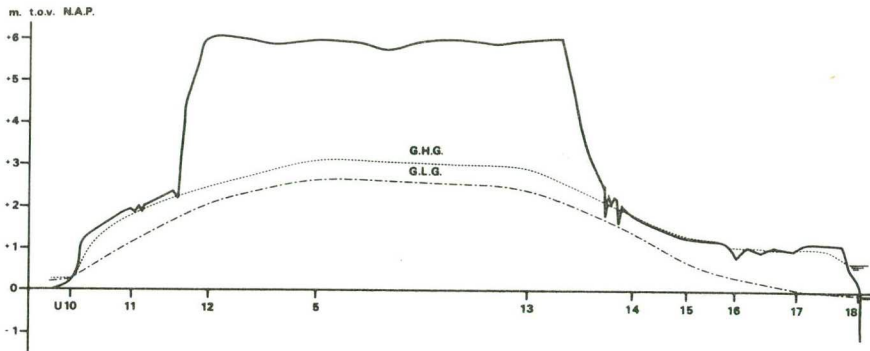
Figuur 20. Het verband tussen de hoogteligging van het maaiveld boven het meerpeil en de gemiddelde wintergrondwaterstand (G.W.G.) en de gemiddelde zomergrondwaterstand (G.Z.G.) op plekken met een doorlatende en ondoorlatende ondergrond



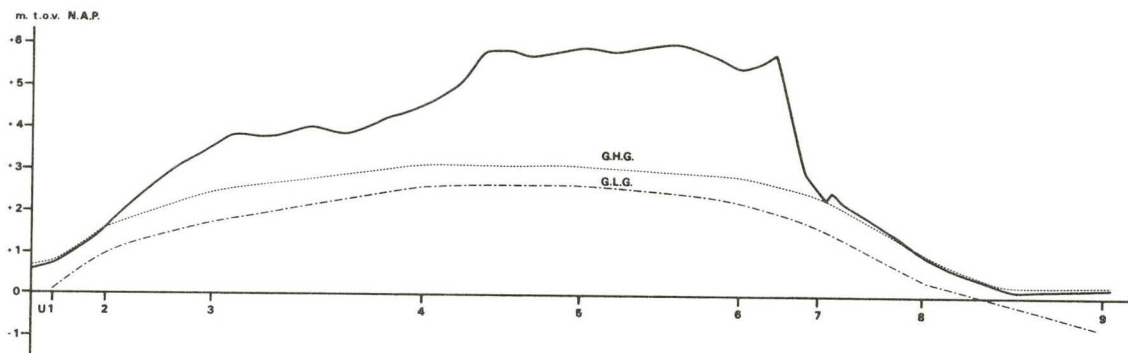
Figuur 23A. Doorsnede van raai C met maaiveldshoogte en grondwaterstanden



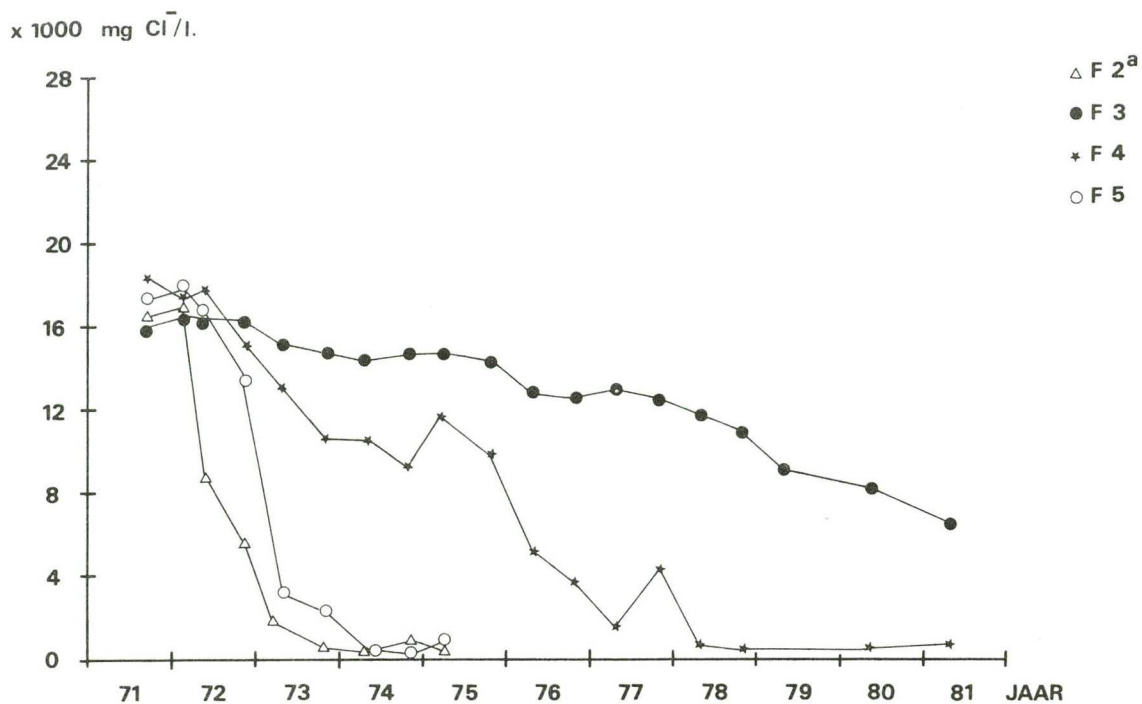
Figuur 23B. Doorsnede van raai F met maaiveldshoogte en grondwaterstanden



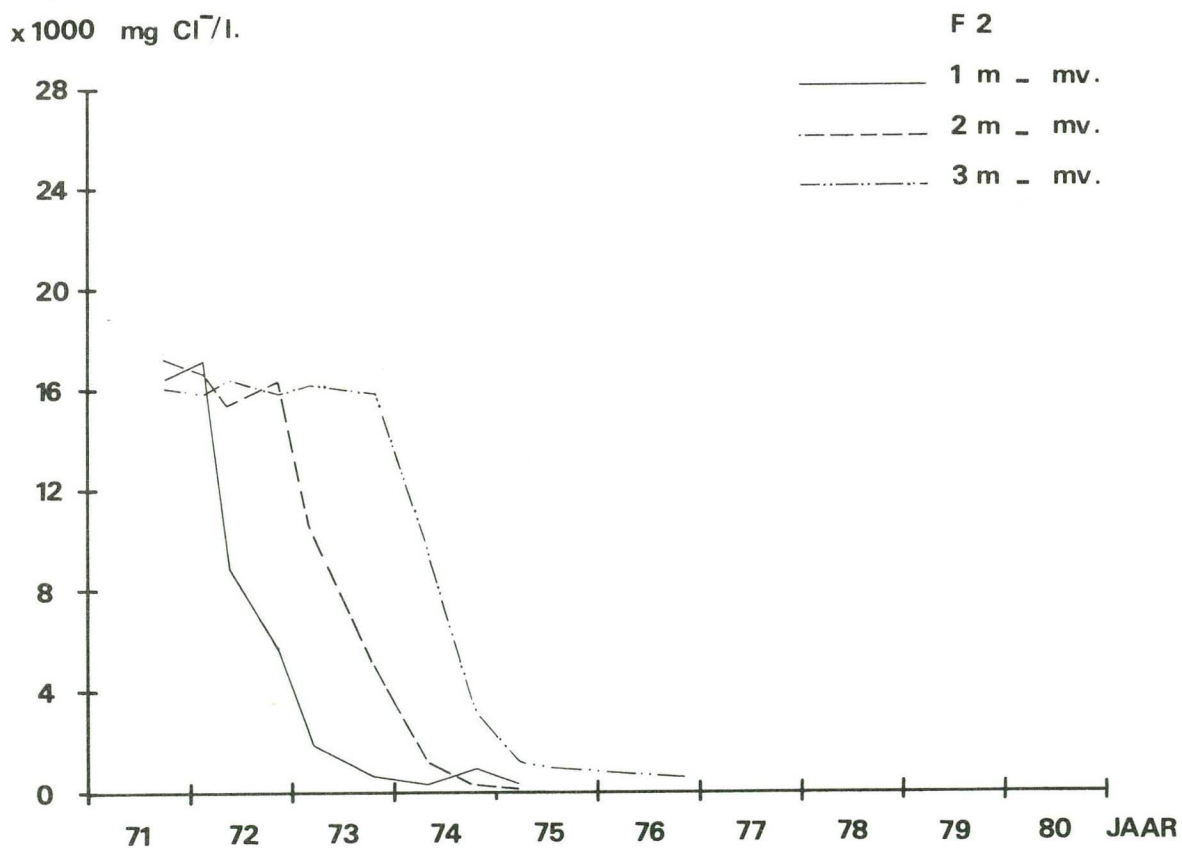
Figuur 24A. Doorsnede van het zanddepot van zuid-noord, met hoogte-
ligging en grondwaterstanden



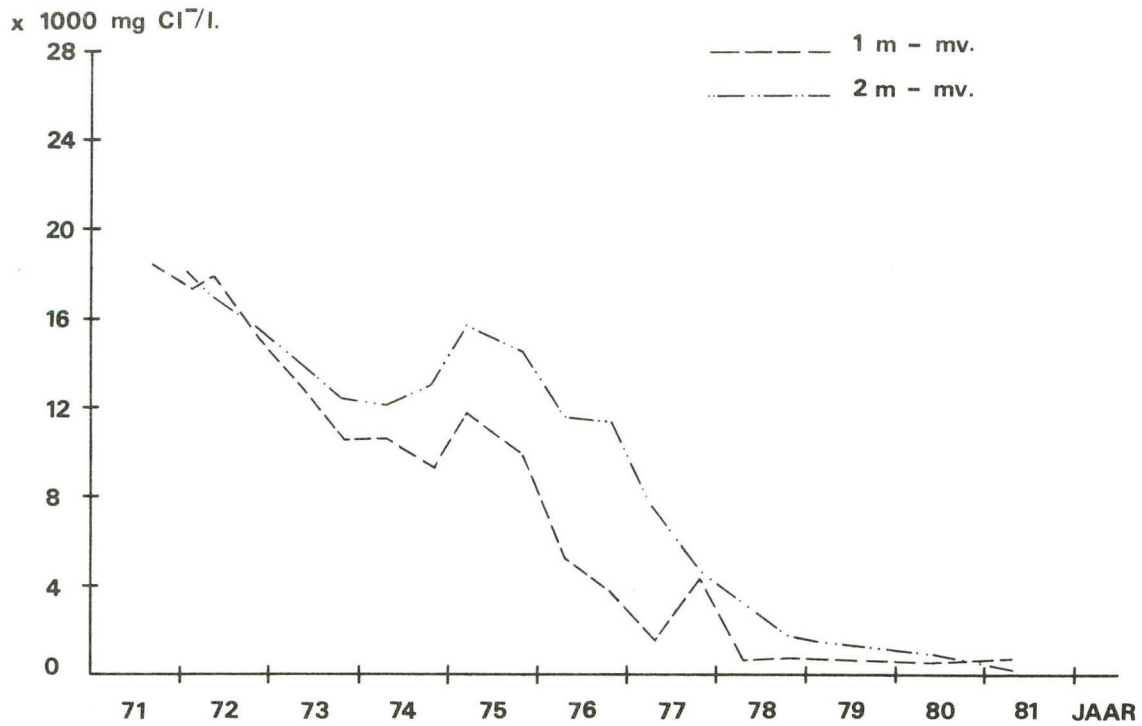
Figuur 24B. Doorsnede van het zanddepot van oost-west, met hoogte-
ligging en grondwaterstanden



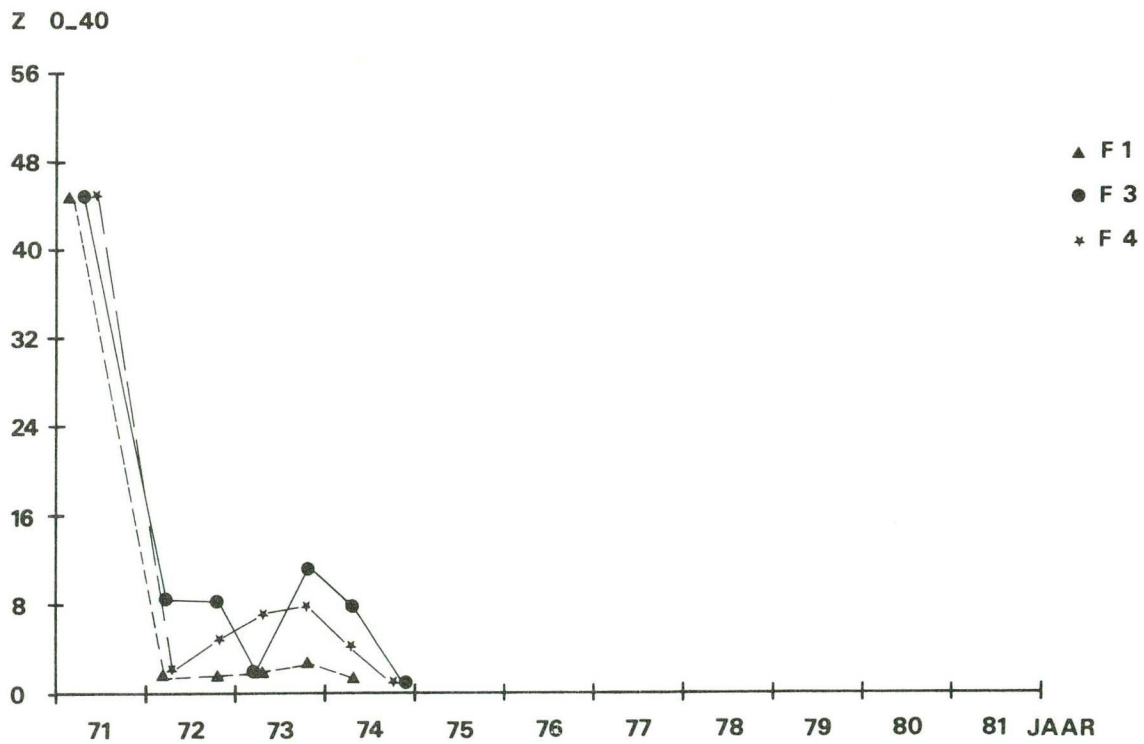
Figuur 26. Het verloop van het zoutgehalte in het grondwater op 1m diepte in de periode 1971-1981 op plekken met een doorlatende ondergrond



Figuur 27. Het verloop van het zoutgehalte in het grondwater op verschillende dieptes in de periode 1971-1981 op plek F2

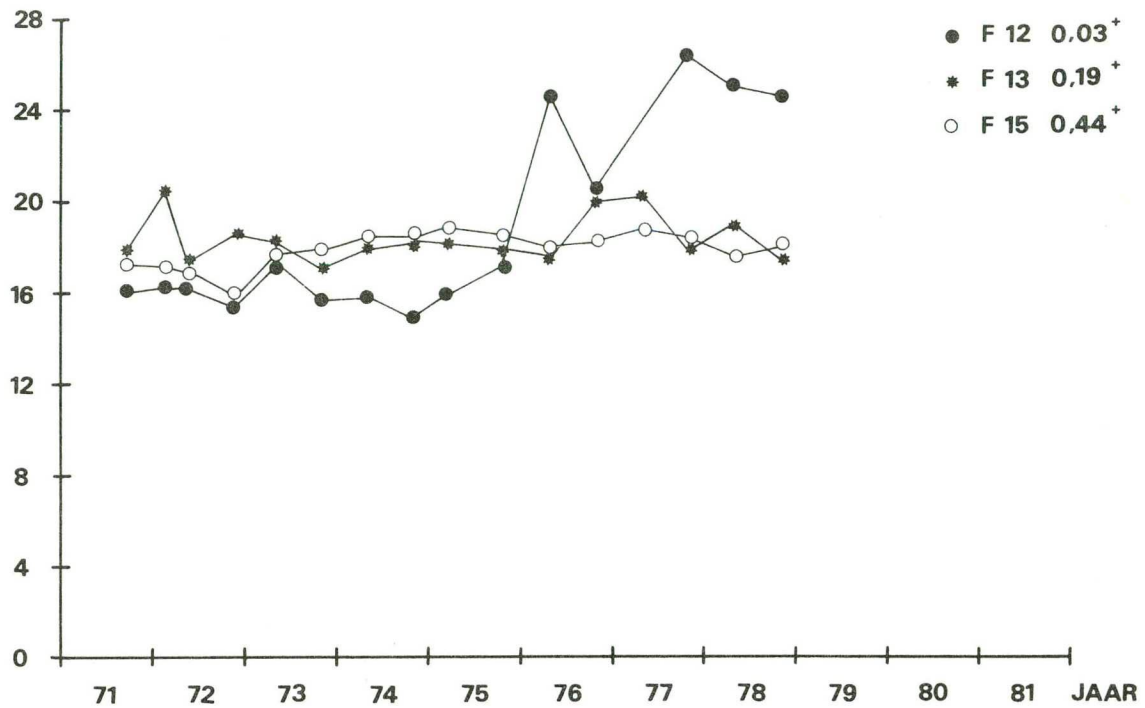


Figuur 28. Het verloop van het zoutgehalte in het grondwater op verschillende dieptes in de periode 1971-1981 op plek F⁴

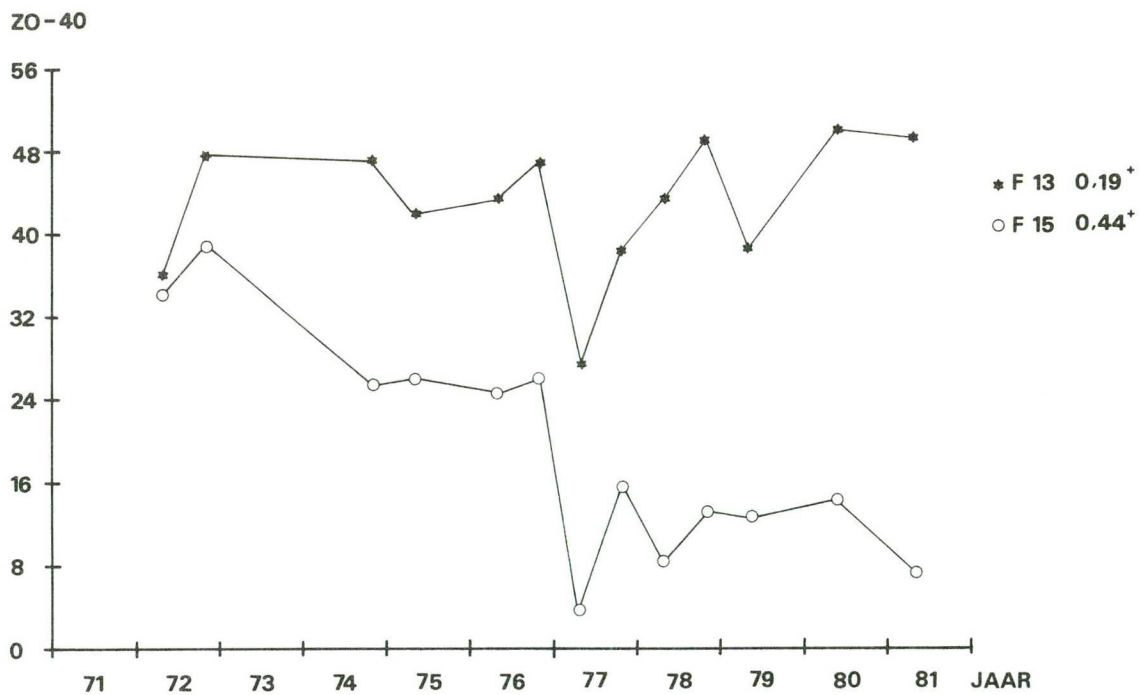


Figuur 29. Het van de totale zouthoeveelheid in de bodemlaag 0-0,4m op de plekken F¹, F³ en F⁴

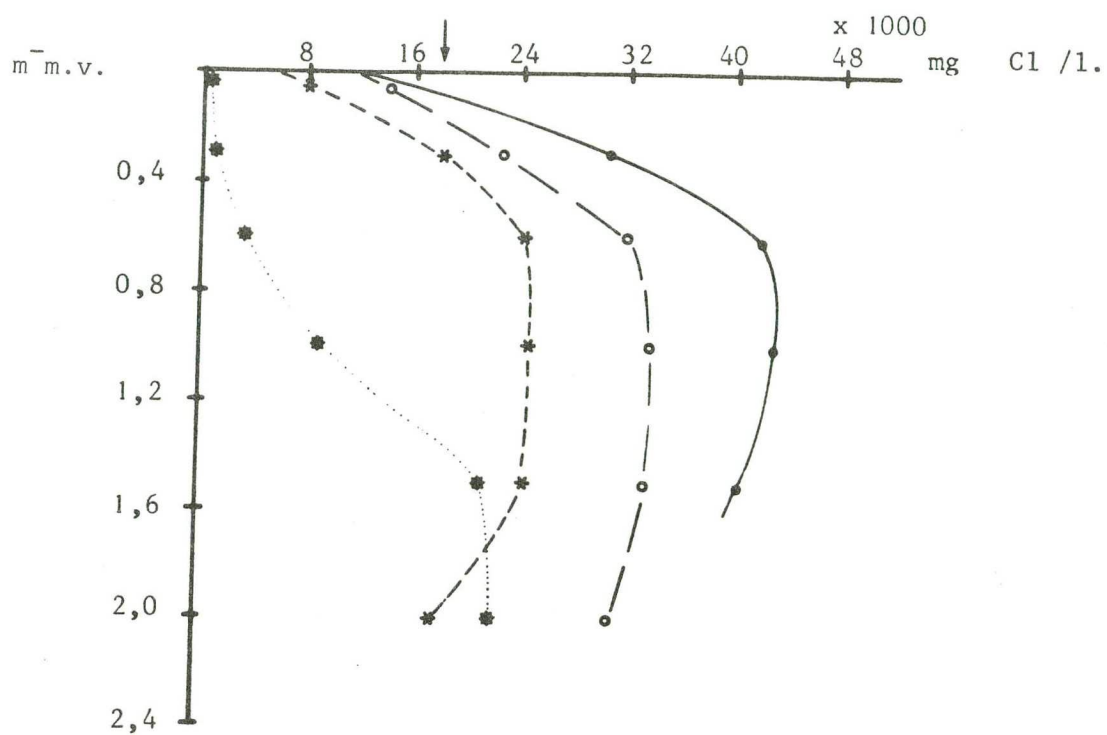
x 1000 mg Cl⁻/l.



Figuur 30 Het verloop van het zoutgehalte in het grondwater op 1m diepte in de periode 1971-1981 met een ondoorlatende ondergrond



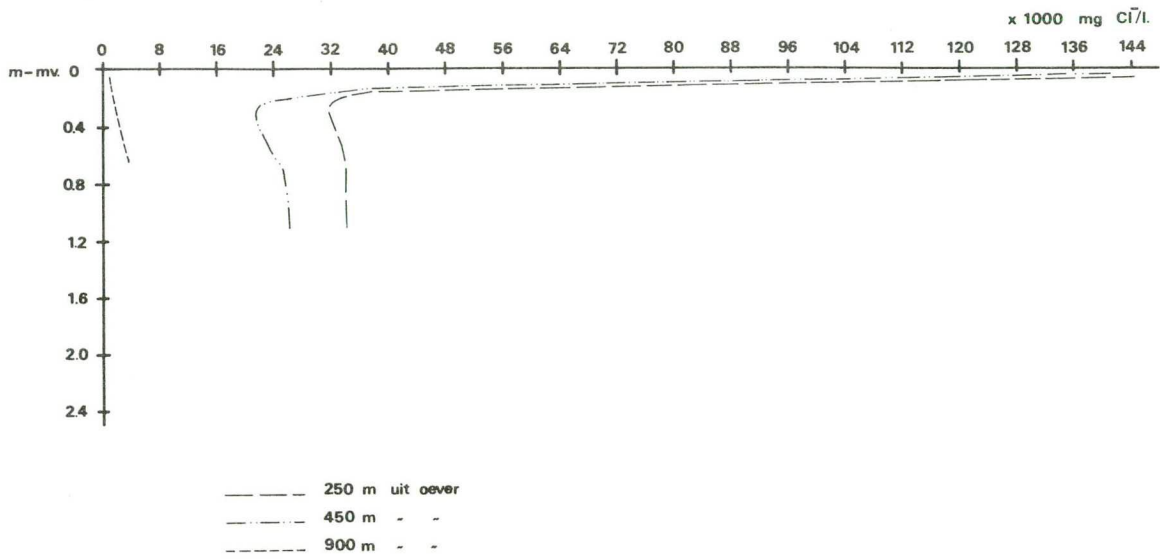
Figuur 31. Het verloop van de totale zouthoeveelheid in de bodemlaag 0-4m op p



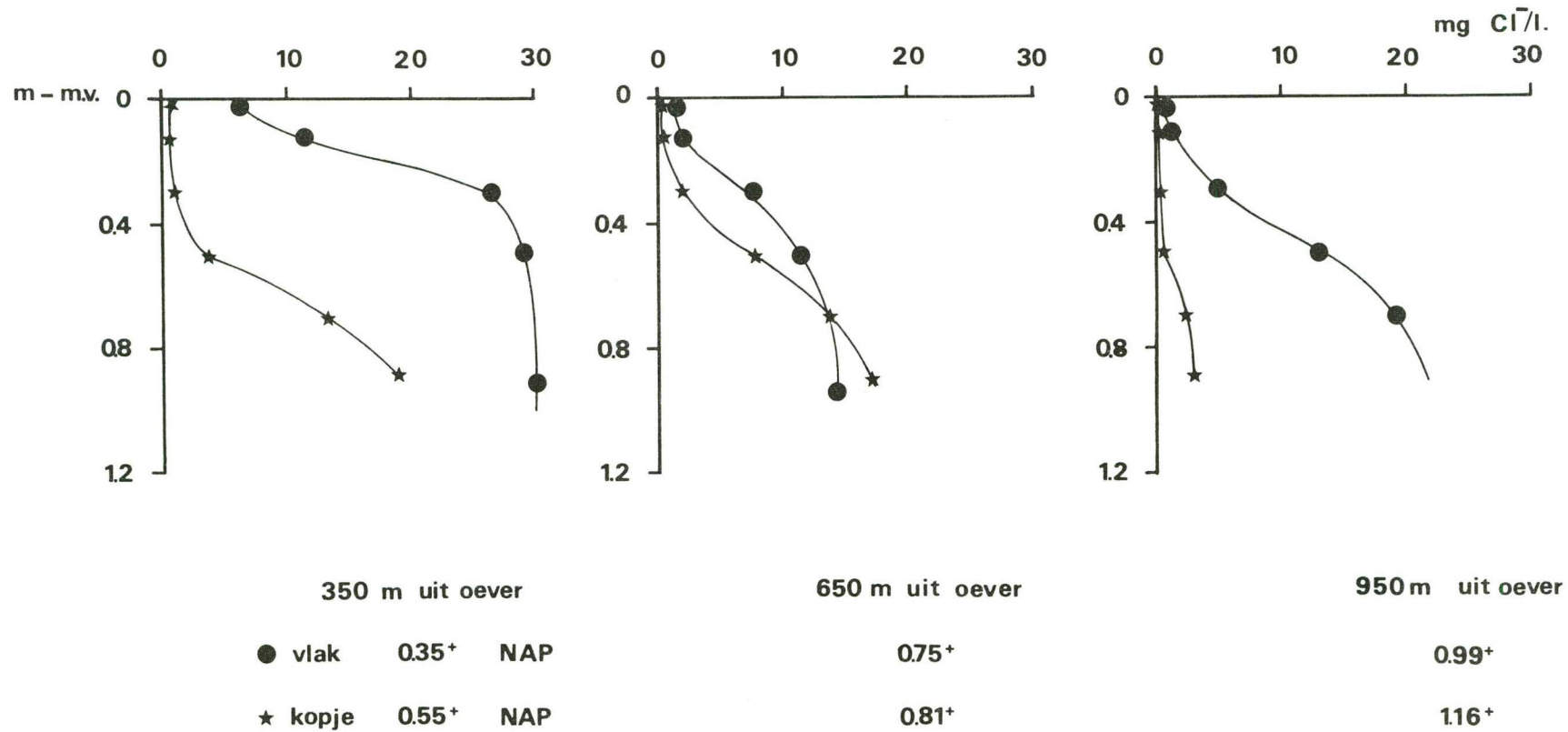
Slikken v. Flakkee

- 100 m uit oever; 0,10 m - N.A.P.
- 250 m " " ; 0,28 m + N.A.P.
- * 450 m " " ; 0,50 m + N.A.P.
- * 900 m " " ; 1,0 m + N.A.P.

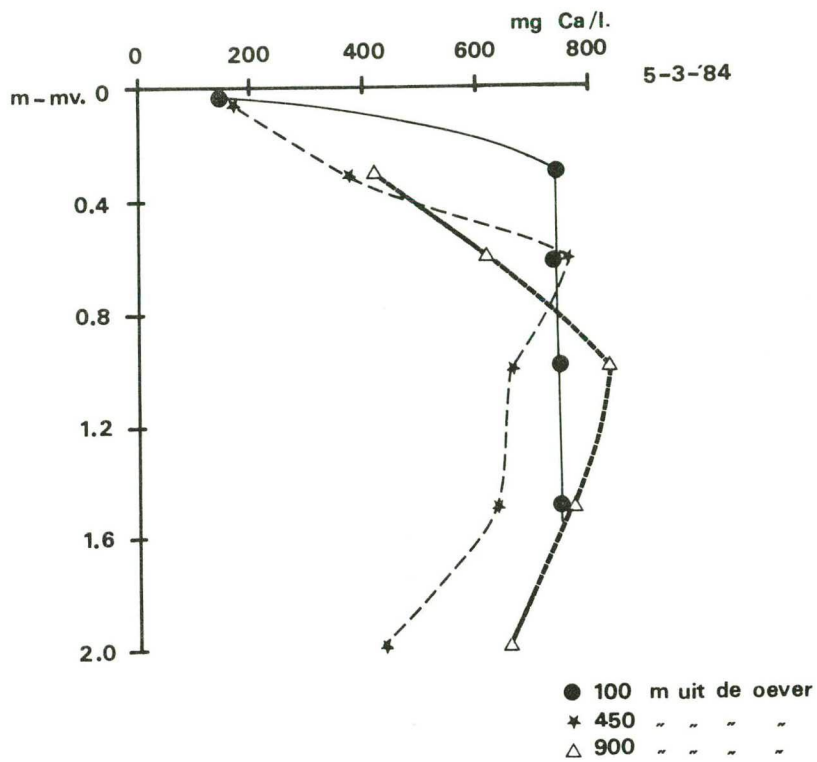
Fig. 32 Zoutconcentratie (mg Cl / l in het grondwater aan het einde van de winter



Figuur 33. Zoutgehalte in het bodemvocht aan het einde van de zomer op plekken met verschillende



Figuur 34. Het verloop van het zoutgehalte in het grondwater met de diepte onder vlak maaiveld en onder een stuifbultje op drie plekken op verschillende afstand vanaf het water



Figuur 37. Het verloop van het Ca-gehalte in het grondwater met de diepte op 3 plekken op verschillende afstand van het water



