

~~6398~~

37341

Niveau, zoutgehalte en stroming
van het grondwater
in de Grevelingendam

door
M. C. Daane en R. Peelen



Niveau, zoutgehalte en stroming van het grondwater in de Grevelingendam

Mededeling nr. 96 van het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek te Yerseke.

Inleiding

Bij de bestudering van de isohaliën in het open water van de Grevelingen [1] valt het op, dat van een invloed van zoet water sprake is bij het sluitgat van de Grevelingendam bij Oude Tonge. De verzoeting in de oppervlakte laag heeft op laagwater zijn verste uitbreiding naar het zuidwesten en is op hoogwater geheel naar het noord-oosten verdrongen en verschijnt vervolgens weer bij het verlopen van het getij in het Zuidwesten. Voor dit verschijnsel zijn twee mogelijke oorzaken aan te wijzen:

1. Kwel vanuit het Krammer naar de Grevelingen.
2. Polderuitslag van de gemalen bij Battenoord en Herkingen.

Voor het optreden van kwel is het nodig, dat er een overdruk is van het Krammer ten opzichte van de Grevelingen. Om dit te onderkennen is een analyse van de waterbeweging onder invloed van het getij in het Krammer en de Grevelingen noodzakelijk. Mogelijk is er in het dijklichaam een voortplanting van de getijgolf te vervolgen. Daartoe zijn een vijftal waterstandsbuizen in de dijk aangebracht tot in het grondwater. Behalve de beweging van het grondwater is ook het chloride gehalte van belang voor het verzoetende effect van de eventuele kwel. Daartoe werden monsters uit de buizen getrokken en het open water bemonsterd. Het chloridegehalte van het water op grotere diepte werd bepaald met een geleidbaarheidsmeter en tenslotte werd de kwel bepaald met kwelmeters, waarbij twee soorten in het uitredende kwelwater op te merken zijn: water afkomstig van neerslag uit het dijklichaam en kwel onder de dijk door. Tenslotte kan het volume van de kwel en het zoutgehalte berekend worden.

Uit de capaciteit van de gemalen bij Battenoord en Herkingen, het aantal uren dat deze in werking zijn en het zoutgehalte van het uitgeslagen polderwater kan berekend worden welke invloed de uitslag heeft op het zoutgehalte van de Grevelingen ter plaatse. Deze invloed kan kwantitatief vergeleken worden met de invloed van de kwel, wanneer de oppervlakte-inhoud relatie bekend is van de hoek van de Grevelingen, waarin de chloride daling optreedt. Bovendien bestaat de mogelijkheid aan de samenstelling van het plankton gegevens te ontleen omtrent de herkomst van het verzoetende water.

Situatie

Voor de kennis van de beweging van het

grondwater in de dam zijn gegevens omtrent de constructie onmisbaar. De dijk-lengte van de Grevelingendam bedraagt 5,6 km tussen de plaatsen Bruinisse op het eiland Duiveland en Oude Tonge op Overflakkee (afb. 1). Het grootste gedeelte van de dam is aangelegd op de plaat van Oude Tonge welke bij laagwater droogvalt. In het sluitgat bij Bruinisse werd een scheepvaartsluis gebouwd en het sluitgat bij Oude Tonge werd, als eerste in de reeks sluitingen in ZW Nederland in het kader van het Deltaplan, verricht met een kabelbaan. Aan deze baan zweefden gondels, waaraan een net gemonteerd was. De stortsteen in het net werd op de daarvoor bestemde plaats afgeworpen [2]. Na de sluiting met stenen boven hoogwater werd de dijk afgewerkt met zand uit de onmiddellijke omgeving van het Krammer en de bocht van St. Jacob (Grevelingen).

Aangenomen mag worden, dat het water waarmee het zand voor de dam werd getransporteerd, een chloridegehalte bezat overeenkomstig dat van de Grevelingen en het Krammer bij de toen heersende rivierafvoer. Deze afvoer varieerde in de periode van 1 december 1964 tot 1 april 1965 toen het laatste damvak werd aangelegd, van $\frac{1}{2}$ tot 2 maal de normale

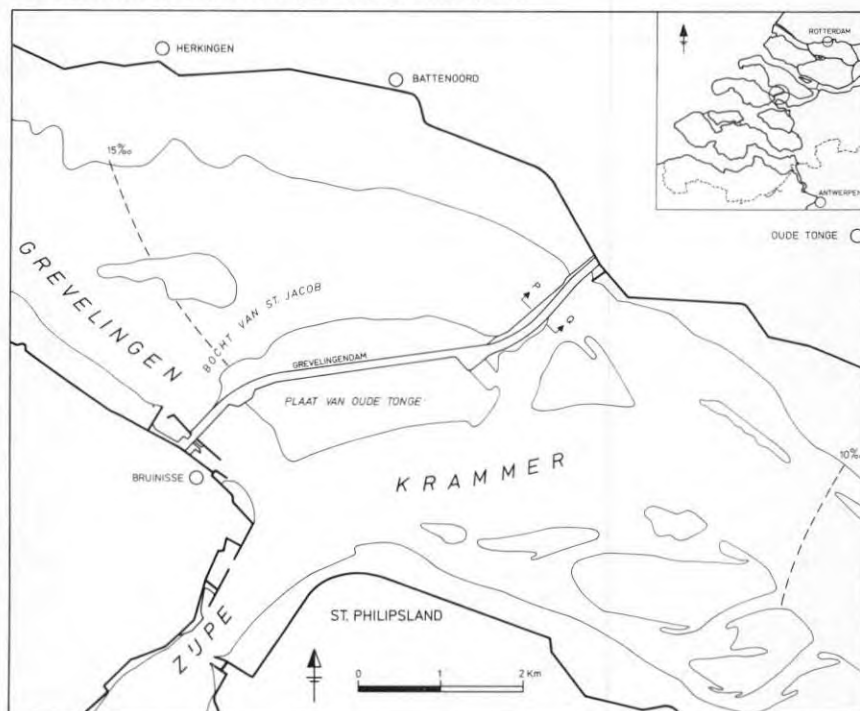
afvoer. Het chloridegehalte varieert dan van respectievelijk $16-9 \text{ }_{00} \text{ Cl}'$. Dit kan afgeleid worden uit de dagelijkse chloride waarnemingen bij hoog- en laagwater verricht bij Zijpe.

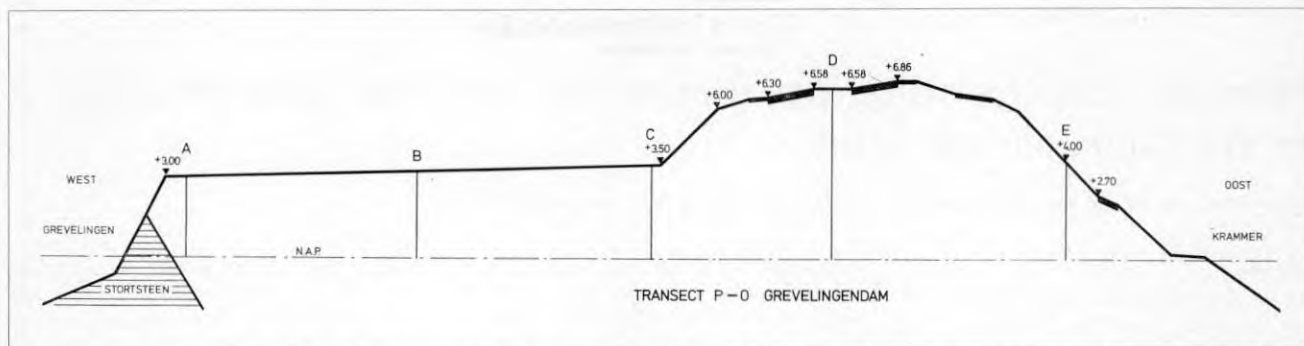
Het wegentracé vormt met het recreatieterrain, dat lager is gelegen, een halve maan bij het sluitgat [3]. Besloten werd een transect voor waterstandsmetingen te kiezen, loodrecht op de wegen in het breedste gedeelte van de halve maan; transect P-Q.

Op de volgende plaatsen werden waterstandsbuizen geplaatst: Midden-Pilon, A. op 3 m + NAP; halverwege het recreatieterrain, B. op 3,25 m + NAP; aan de voet van de dijk, C. op 3,50 m + NAP; tussen de twee hoofdwegen, D. op 6,58 m + NAP; in het talud boven de dijksbescherming, E. op 4 m + NAP. De grondwaterstandsbuizen van 1" werden met een draaigrondboor zover mogelijk in het grondwater aangebracht. Even boven het grondwater was het zand bijzonder hard, de waterhoudende laag was aanmerkelijk weker. De afstand tussen het eerste en laatste monsterpunt bedroeg 145 m.

De grondwaterstanden werden om het uur op de cm nauwkeurig opgenomen gedurende een gehele getijcyclus van

Afb. 1 - Situatie van de Grevelingendam gelegen tussen de Grevelingen en het Krammer, met de isohaline van $15 \text{ }_{00} \text{ Cl}'$ in de Grevelingen en die van 10 _{00} in het Krammer, beide gemeten op laag water bij gemiddelde rivierafvoer.





Afb. 2 - Dwarsdoorsnede van de Grevelingendam ter hoogte van het transect P-Q met de bemonsteringspunten waar de waterstandsbuizen werden geplaatst. Het wegdek van de verschillende wegen werd aangegeven.

minstens 12 uur 25 min. met een peil-klokje. Monsters voor bepaling van het chloridegehalte werden zowel met een slangenpompje uit de buizen genomen als uit het open water van de Grevelingen en het Krammer. De bepalingen werden op het laboratorium verricht volgens de Mohrse titratie. De getijbeweging in het buitenwater van de Grevelingen (west) en het Krammer (oost) werd waargenomen in het sluizencomplex bij Bruinisse met behulp van de aldaar opgestelde elektrische getijmeters.

Getijmetingen

Op 23 januari 1968 werd de eerste meting gedurende een vol getijde verricht. Het was toen dood tij. De Grevelingen loopt in de eb fase 1 uur voor op het Krammer. In de vloedfase blijft de Grevelingen voorlopen op het Krammer tot 2 uur na rijzend water. Tot 1½ uur daarna blijft de Grevelingen achter en daarna bewegen zij zich praktisch gelijk tot even voor hoogwater.

Zodoende is het peil van het Krammer gedurende 5 uur ca. 50 cm hoger dan dat van de Grevelingen en gedurende 2 uur 30 cm lager. Met de planimeter werd uit de grafiek bepaald hoeveel cm verschil gedurende het hele getij te constateren was. Bij deze meting was het Krammer 15,5 cm hoger dan de Grevelingen. In tabel I is deze waarde onder „overdruk” naast die van de andere data opgenomen.

De gepeilde diepten in de grondwaterstandsbuizen hadden het volgende verloop: A vertoonde zijn laagste stand ½ uur voor hoogwater op de Grevelingen en zijn hoogste stand 3 uur na hoogwater op de Grevelingen, zodat de vloedfase 3½ uur in de buis duurt en de eb fase 9 uur. Het merkwaardige is dat de buizen B en C in het recreatieterrein en aan de voet van de dijk in fase ongeveer gelijk waren aan A. terwijl de afstand, elk 40 m bedraagt en van A tot het open water 10 m. De buis D, gelegen tussen de wegen, heeft een meer constant karakter. Tenslotte vertoonde de buis E een beweging meer synchroon met het getijde op het Krammer. Hoogwater is ½ uur later in de buis dan in het Krammer en laagwater valt 3 uur later in de buis dan in het Krammer. Op latere data werden opnieuw metingen verricht. Het geheel is weergegeven in tabel I.

Uit de amplitude blijkt dat buis A onder invloed staat van doottij of springtij op de Grevelingen. Deze invloed is veel minder in de buizen B en C. In de buis D is weinig variatie en de grondwaterstand is de hoogste in het terrein van alle buizen. De amplitude van buis E is vrij constant bij spring- of doottij op het Krammer. De grondwaterstand is lager dan van buis D. De amplitudes van de buizen zijn weergegeven in het geharceerde gedeelte van afb. 4.

Chloridegehalte van het grondwater

Gelijktijdig aan de waarnemingsreeks van de grondwaterstanden werd grondwater en open water om het uur bemonsterd en het chloridegehalte bepaald (tabel II).

In het algemeen is het chloridegehalte van buis A iets lager dan van Grevelingen. Het chloridegehalte van buis B varieert van 2,78 tot 4,57 ‰ Cl' en is dus brak. Het zoete gedeelte van het grondwater is te vinden bij de buizen C en D op een enkele bepaling na, terwijl buis E duidelijk zoeter is dan buis B en ook zoeter dan het Krammer.

Door zijn lage ligging kan het recreatieterrein bij hoge waterstanden op de Grevelingen voor enige tijd onder water komen te staan. Incidenteel kan dit aanleiding geven tot verzouting van het bodemwater, zoals op 9-10-'70 is gemeten: Grevelingen 15,28 ‰ Cl', buis A 14,89 ‰ Cl', buis B 11,64 ‰ Cl', buis C 3,09 ‰ Cl', buis D 0,10 ‰ Cl', buis E 0,10 ‰ Cl' en het Krammer 14,83 ‰ Cl'.

Teneinde een zo goed mogelijk inzicht te krijgen in de zoutverdeling van het grondwater, dieper dan het freatische vlak, werden op 20 en 21-8-'70 een serie geoelektrische metingen verricht met het apparaat „Geohm” en een 26 aderige kabel met even zoveel pennen met aansluitingen. Dit apparaat werd welwillend

TABEL I - Peilstanden metingen Grevelingendam in cm t.o.v. NAP

Datum	Grevelingen	A	B	C	D	E	Krammer	overdruk	tij
23-1-'68	1,28 +	0,47 +	0,32 +	0,62 +	1,38 +	0,30 +	1,27 +	15,5 cm Kr.	+ doottij
	1,75 —	0,21 +	0,18 +	0,42 +	1,27 +	0,18 —	1,75 —		
amplitude	3,03	0,26	0,14	0,20	0,11	0,48	3,02		
1-2-'68	1,94 —	0,37 +	0,29 +	0,52 +	1,26 +	0,11 —	1,91 —	6,2 cm Kr.	+ springtij
	2,21 +	2,35 +	0,48 +	0,76 +	1,30 +	0,36 +	2,03 +		
amplitude	4,15	1,98	0,19	0,24	0,04	0,47	3,94		
23-12-'68	0,76 —	0,22 +	0,31 +	0,55 +	1,27 +	0,14 —	0,93 —	6,9 cm Grevelingen	+ springtij
	3,05 +	1,11 +	0,43 +	0,78 +	1,29 +	0,44 +	2,80 +		
amplitude	3,81	0,89	0,12	0,23	0,02	0,58	3,73		
23-3-'69								20,6 cm Kr.	+ doottij
2-4-'69									
4-7-'69	2,06 +	0,91 +	0,55 +	0,95 +	1,13 +	0,50 +	2,17 +		
	1,32 —	0,44 +	0,40 +	0,61 +	1,01 +	0,04 +	1,54 —	16,4 cm Kr.	+ springtij
amplitude	3,38	0,47	0,15	0,34	0,12	0,46	3,71		
								15,3 cm Kr.	+ springtij

TABEL II - Variatie in het chloridegehalte in ‰ van open- en grondwater

Datum	Grevelingen	A	B	C	D	E	Krammer
23- 1-'68	12,82 - 13,07	8,53 - 12,79	3,82 - 4,26	0,08 - 0,55	0,11 - 0,31	0,69 - 3,53	0,98 - 4,34
1- 2-'68	11,39 - 11,86	11,22 - 11,80	3,81 - 4,57	0,06 - 0,21	0,16 - 0,23	0,59 - 2,90	5,70 - 7,47
23-12-'68	15,36 - 16,58	14,50 - 15,46	3,58 - 4,52	0,09 - 0,64	0,32 - 1,85	1,03 - 1,87	16,13 - 16,54
4- 7-'69	14,20 - 14,52	14,20 - 14,64	2,78 - 3,14	0,09 - 0,18	0,18 - 0,22	0,27 - 0,40	14,05 - 14,70

ter beschikking gesteld door de Landbouwhogeschool te Wageningen.

Van belang is bij deze metingen, dat het pakket waarin gemeten wordt homogeen is en de poriën tussen de bodemdeeltjes verzadigd zijn met vocht of met grondwater zijn gevuld. Het dijklichaam is van opbouw vrij homogeen. Uit de boringen voor de grondwaterstandsbuizen werd zand verkregen. Aan de kanten van de dijk werd zand gevonden van 240 μ korrelgrootte en in het midden 100-140 μ . Het hele dijklichaam is afgedekt met een laag klei, waarop een grasmat groeit, waardoor het zandpakket vochtig blijft, zodat aan de gestelde voorwaarden voor een geoelektrische meting is voldaan. Gemeten werd tot 15 m. — M. Bij de monsterneming zijn verschillende chloridegehalten bepaald, die gecorreleerd kunnen worden met een bepaalde geleidbaarheid berekend volgens de methode van Barnes [4]. Het is mogelijk een ijklijn op te stellen van het chloridegehalte tegen de geleidbaarheid en hieruit het chloridegehalte van de verschillende niveaus af te leiden. Er is van uitgegaan dat de ondergrond dieper dan het dijklichaam ook homogeen is. In het transect gelegen in het sluitgat komen diepten voor tot 14 m — NAP, zodat hier het zandpakket homogeen moet zijn. Anders is het bij het stuk van de dijk over de plaat van Oude Tonge. Evenwel is er eeuwenlang een open verbinding tussen Duiveland (Bruinisse) en Overflakkee (Oude Tonge) geweest, zodat de ondergrond mogelijk ook uit zand met dezelfde korrelgrootte als het dijklichaam zal bestaan [5].

Uit de resultaten van de metingen blijkt, dat zich in de 5 jaar na de sluiting een zoetwaterlens gevormd heeft onder het hoogste gedeelte van het dijklichaam. De verzoeting heeft zich uitgebreid tot het diepere grondwater. Zoals eerder gesteld is, was het chloridegehalte van het perswater voor het zand 9-16 ‰ Cl', zodat alles lager dan 9 ‰ Cl' door vermenigving met regenwater gevormd moet zijn. Uit het profiel is tevens af te leiden dat het kwelwater door de dam in de Grevelingen 10 ‰ Cl' of meer moet bedragen. Voor het totale beeld van de kwel is het van belang te weten of de rest van de dam ongeveer dezelfde chlorideverdeling te zien geeft als in het transect P-Q. Daartoe werden nog 5 metingen met de „Geohm” verricht in de lengterichting van de dam (afb. 5), nabij de betonnen haspel van de Kabelbaan „Blok”, nabij het transect P-Q tussen de wegen „TW”, nabij het Restaurant op de Grevelingendam „Rest”, midden op de plaat van

Oude Tonge „Slikken” en bij het haven-tje van Bruinisse voor de sluis „Hav. Bru.” afb. 5.

Deze afb. toont een vrij homogeen verloopende serie isohalienen, terwijl bij het Restaurant plaatselijk een wat grotere verzoeting is opgetreden. Hier heeft ook de dam het grootste oppervlak op 6,50 m + NAP. Het hogere chloridegehalte, vlak onder de oppervlakte bij het Blok en de Haven van Bruinisse, kan misschien veroorzaakt zijn door het gebruik van wegeenzout tegen de gladheid.

Tijdens het opspuiten van de dam over de plaat van Oude Tonge van 1961-1964 zijn ook wisselende zoutgehalten in het transportwater van het zand voorgekomen. Hoe lang dit transportwater van het zand in een dijklichaam kan blijven, blijkt uit waarnemingen van de dam bij de schutsluis in het Haringvliet, waar het ongeveer 3 maanden duurde eer al het transportwater uitgetreden was [6].

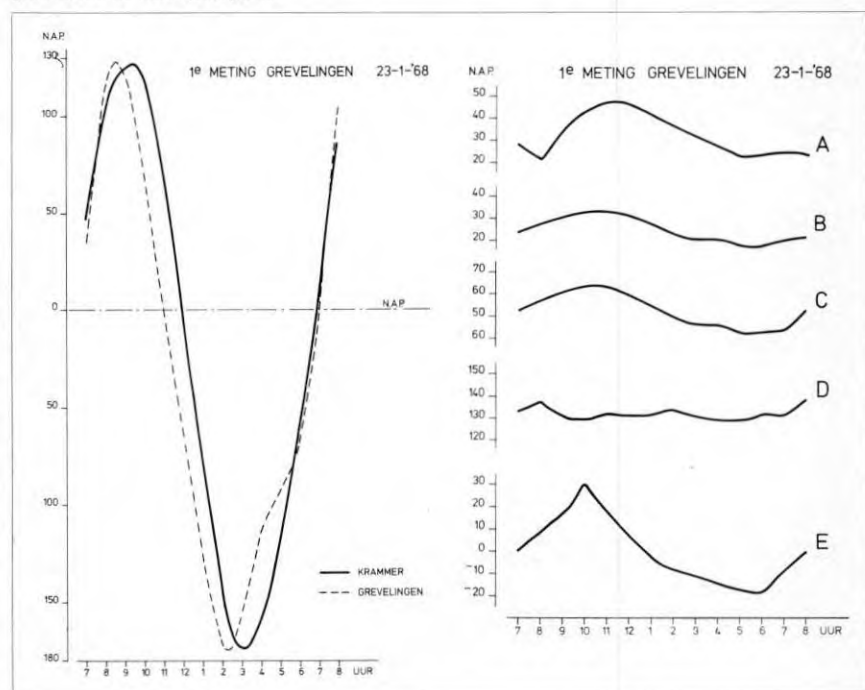
Hoewel voor de dam geen exacte zoetwaterbalans gegeven kan worden, is de volgende benaderingswijze mogelijk. De neerslag hoeveelheid over een langjarig gemiddelde is voor dit gebied (Vlissingen) ongeveer 700 mm per jaar. De verdamping kan worden afgeleid uit de waarden van de Penman formule met een correctie factor voor een grasmat gemiddeld over de maanden berekend.

Dit is 567 mm per jaar. Aan neerslag blijft derhalve over 133 mm per jaar. Het porievolume voor de zandkorrels wordt benaderd als een gemiddelde tussen de bol stapeling en de dichte bol stapeling, met als uitkomst 35 %. Hieruit volgt dat het jaarlijkse neerslag overschot in het zandpakket een ruimte inneemt van ca. 38 cm per jaar. De dam is nu 5 jaar dicht, zodat ongeveer 190 cm zoetwater in het dijklichaam gevonden kan worden, aangenomen dat er in het centrum geen afvoer van zoet water vanuit het dijklichaam optreedt. Dit komt dichtbij de 200 cm als benadering van de gevonden maat in het centrum van het dijklichaam. Evenwel aan de kanten, waar duidelijk getij-invloed merkbaar is, ontbreekt een zoete waterlaag. Het water wordt brak en wordt afgevoerd in de richting van het open water.

Kwelmelingen

Onder normale omstandigheden van getij en wind is er steeds een overdruk te constateren van het Krammer naar de Grevelingen. Toen het Volkerak nog niet afgesloten was, was in het algemeen het chloridegehalte van het water in het Krammer lager dan in de Grevelingen [1], zodat aan de voorwaarden voor het optreden van een verzoetende kwel voldaan zijn. De planimetrisch bepaalde

Afb. 3 - Niveau's van het getij op 23-1-1968 van het open water (3A) en grondwater (3B) gedurende de hele getijcyclus.



TABEL III

Datum	Aantal mm kwel per getij gerekend over het talud		kwel
23-12-'68	Grevelingen	2,7 mm Krammer	3,6 mm = 0,9 mm
28- 3-'68	Grevelingen	5,5 mm Krammer	0,9 mm = 4,6 mm
2- 4-'68	Rest. Grevelingen	10,0 mm Krammer	0,7 mm = 9,3 mm
	Transect Grevelingen	13,5 mm Krammer	2,3 mm = 11,2 mm
	Blok Grevelingen	3,6 mm Krammer	0,0 mm = 3,6 mm

overdrukken zijn tijdens de waarnemingen vermeld in tabel I.

Daarbij valt op, dat de kweldruk bij doodtij hoger is dan bij springtij. De laatste datum 28-4-'69 valt na de sluiting van het Volkerak. Teneinde de hoeveelheid kwelwater vast te stellen werden een aantal kwelmeters in het dijktaald geplaatst op laagwater en weer weggehaald bij het volgende of daaropvolgende laagwater. Door steeds te werken in dezelfde getijfase bij het inzetten en uithalen van de kwelmeters wordt de eventuele fout van de heen en weer bewegende watermassa ondervangen. De kwelmeters zijn beschreven door Van der Weerd [7]. Het resultaat was het volgende (tabel III).

Uit het feit dat de meters aan beide zijden van het transect steeds meer water bevatten, dan waarvan bij het begin van de meting uit was gegaan, blijft dat kwelwater en uittredend water afkomstig van de neerslag in de kwelmeters terug te vinden is. Bij een gemiddelde overdruk tussen springtij en doortij van 15 cm van het Krammer naar de Grevelingen, werd een kwel geconstateerd van 5,1 mm per tij. Over een etmaal gerekend, betekent dit 10,0 mm. Deze berekening is alleen uitgevoerd door het transect bij het Restaurant, waar de omstandigheden zo waren dat de meters goed geplaatst kunnen worden. De meters zijn ontworpen voor gebruik in poldersloten en hier worden ze toegepast voor open water,

waarbij de stroming de instrumenten zou kunnen ontgronden. In de vermelde gevallen stonden de meters vast in het zand. Bij het Blok aan de Krammerzijde is een aanmerkelijke slib depositie, zodat daar de kwel aanzienlijk lager was.

Bij de hoeveelheid kwel komt ook nog de gemiddelde afvloeiing van het regenwater verminderd met de verdamping. Deze kan sterk per dag en jaargetijde verschillen, waarbij een zoetwaterlens gevormd wordt in het hoogste dijkgedeelte, zoals eerder is aangetoond. Omdat het regenwater zoet is en door zijn geringere soortelijke gewicht drijft op het zoute kwelwater is het niet waarschijnlijk dat het regenwater over het hele talud kwelt, maar bij voorkeur op een strook bij de laagwaterlijn, juist in het niveau waar beneden de meters geplaatst werden. De hoeveelheid kwel afkomstig van regenwater is daarom bijzonder moeilijk te meten. Wel kan gesteld worden dat van de jaarlijkse neerslag van 700 mm in dit gebied, door de verdamping in de grasmat, maar 133 mm overblijft, zoals eerder is berekend. Daarvan blijft meer dan de helft in het dijklichaam, zoals blijkt uit de bolling van afb. 4, zodat maar ongeveer 25 mm per jaar naar elke kant kan afstromen. Behalve bij het recreatie terrein kan dit door zijn grotere oppervlakte niet veel gewicht in de schaal leggen. Stel dat over 3 m van het talud (dit is de gemiddelde diepte van de Grevelingen tussen Herkingen en

de dam) kwel optreedt. De lengte van de dam bedraagt 5,6 km en bij een gemiddelde kwel van 10 mm per dag geeft dit $3 \times 5600 \times 0,01 = 168 \text{ m}^3$ per etmaal. Het zoutgehalte van de kwel kan afgeleid worden uit afb. 4. Deze bedraagt aan de Grevelingenkant 10-12 ‰ Cl'.

De daling van het chloridegehalte op de Grevelingen was in de bovenste waterlaag op 28-9-1967: 0,22 ‰ Cl', op 23-1-1968: 0,27 ‰ Cl', op 1-2-1968: 0,37 ‰ Cl' en op 23-12-1968: 0,22 ‰ Cl' en tenslotte op 4-7-1969: 0,32 ‰ Cl'.

Uit deze waarneming blijkt het oppervlaktewater van de Grevelingen bij de Midden Pilon ongeveer 0,3 ‰ Cl' per getij te dalen. Hoeveel water van een bepaald zoutgehalte dit zou moeten veroorzaken, kan berekend worden met de formule $a \times C_1 + b \times C_2 = C_3 (a + b)$, waarin a en b de volumina voorstellen en C_1 , C_2 en C_3 respectievelijk de chloride concentraties van de oppervlakkige laag van de Grevelingen bij hoogwater, kwelwater en de oppervlakkige laag van de Grevelingen bij laagwater.

Worden de waarden voor deze formule ingevuld, dan is $a \times 15 \text{ ‰} + 168 \times 11 \text{ ‰} = 14,7 \text{ ‰} (a + 168)$. Door berekening blijkt $a = 2100 \text{ m}^3$ te zijn. De kwel met een inhoud van 168 m^3 per etmaal van 11 ‰ Cl' kan dus in 2100 m^3 Grevelingenwater van 15 ‰ een daling veroorzaken van 0,3 ‰ Cl'.

Polderuitslag

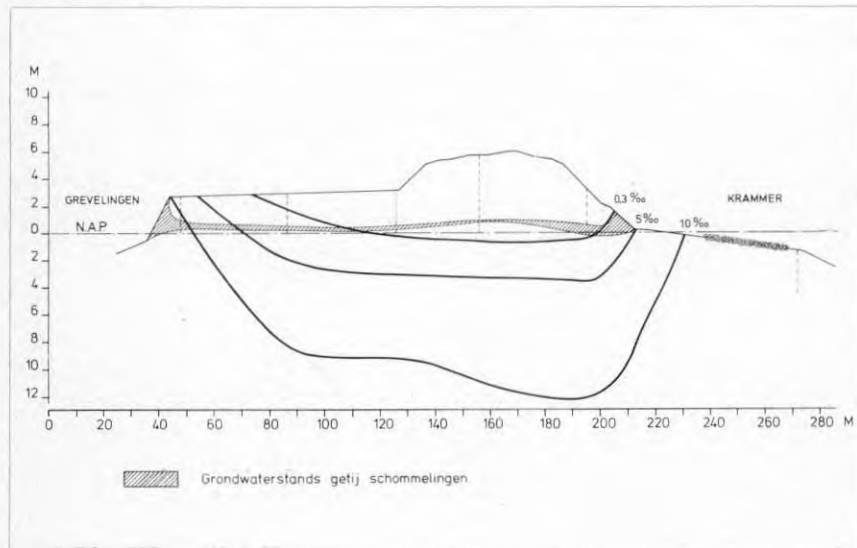
Vergelijken wij hierbij de uitslag van de polders Battenoord en Herkingen, dan geven deze samen een volume alleen overdag van 54.600 m^3 en over een etmaal gerekend van 93.600 m^3 . Het chloridegehalte van het polderwater is ongeveer 2 ‰ Cl'. Wordt de daling van het chloridegehalte gemiddeld per getij op 0,3 ‰ Cl' gesteld, zoals boven, dan kan weer de eerder genoemde formule gebruikt worden: $a \times 15 \text{ ‰} + b \times 2 \text{ ‰} = 14,7 (a + b)$. Wanneer b een deel polderuitslag is dan is a 42,3 delen kustwater van 15 ‰. Bij een polderuitslag van Battenoord en Herkingen samen wordt $93,6 \times 10^3 \times 42,3 = 3,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ kustwater met 0,3 ‰ Cl' per etmaal verzoet.

De oppervlakte van de hoek van de Grevelingen tussen Herkingen en de Grevelingendam, waarin de chloridedaling optreedt, is op de HW keringen 1058,2 HA, op NAP 900 HA en 460,7 HA op LLWS. De inhoud op NAP is $28,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ en op LLWS $16,2 \times 10^6 \text{ m}^3$. Het volume, waar de chloridegehalte daling plaats vindt is alleen dat van de oppervlakkige laag.

Conclusie

Uit het voorgaande blijkt, dat de kwel door de Grevelingendam 2100 m^3 zoutwater 0,3 ‰ Cl' per etmaal kan laten dalen in de Grevelingen en dat de polderuitslag het zoutgehalte van $3,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ water per etmaal even ver kan doen dalen. Hieruit kan geconcludeerd worden

Afb. 4 - Transversaal van de Grevelingendam bij het transect P-Q, grondwaterstandswisselingen in het geharceerde gebied en isohalinen van het dijklichaam, geoelectrisch en in watermonsters bepaald.



dat de Grevelingendam in vergelijking met de polderuitslag, een geringe verzoetende invloed uitoefent maar ten opzichte van elders gemeten slootkwel in dezelfde orde van grootte blijkt te liggen [7]. Uit de geschetste verhoudingen van oppervlakte en inhoud kan berekend worden dat de daling plaats vindt ongeveer in de bovenste 45 cm. Vandaar dat de daling van het zoutgehalte op hoogwater niet meer te vinden is. Door het vloedwater wordt nieuw, zouter water aangevoerd, dat zich met het oppervlaktewater mengt. De polderuitslag is de belangrijkste bron voor de plaatselijke daling van het chloridegehalte in de bovenste waterlagen, ofschoon weer naar verhouding weinig polderuitslag op de Grevelingen plaats vindt [8].

Mazure [9] vindt voor de dijken van de Wieringermeerpolder als kwel waarden van 1 m³ per m dijk per etmaal, hetgeen overeenkomt voor de dijk bij het Amsteldiep met 17 mm per etmaal per m² talud. Deze waarde komt in orde van grootte overeen met de door ons gevonden waarde van 10 mm per etmaal per m² talud.

Quantitatieve plankton waarnemingen

Maandelijks werden aan het oppervlak en nabij de bodem planktonmonsters genomen. Hierin werden alleen in het oppervlaktewater de volgende zoetwater organismen gevonden:

1967: *Ankistrodesmus falcatus*, *Pediasstrum duplex* (groenwieren), *Fragillaria crotonensis* (kiezelwier), *Keratella cochlearis* en *K. quadrata* (raderdieren).

1968: *Scenedesmus quadricauda*, *Staurastrum paradoxum* (groenwieren), *Asterionella formosa* en *Fragillaria crotonensis* (kiezelwieren), *Keratella cochlearis* en *K. quadrata* (raderdieren).

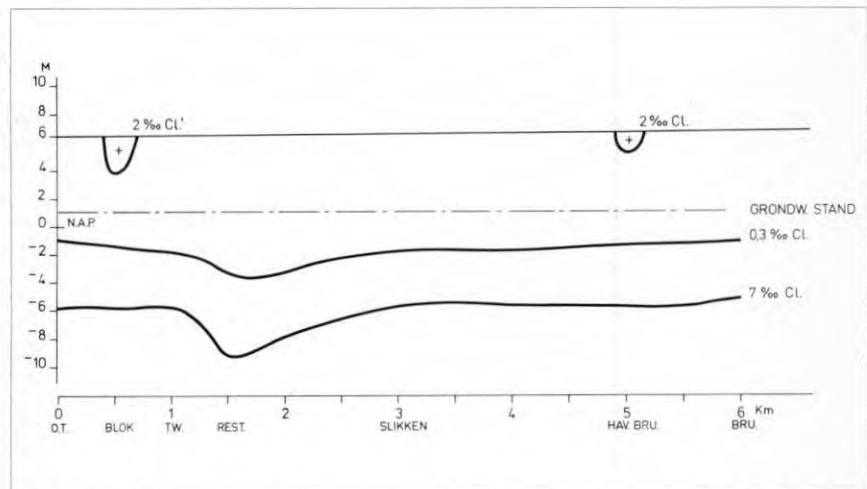
1969: *Scenedesmus quadricauda*, *Crucigenia minima*, *Staurastrum paradoxum* (groenwieren), *Melosira granulata*, *M. varians*, *Asterionella formosa*, *Synedra tabulata*, *S. acus* (kiezelwieren).

1970: *Asterionella formosa*, *Melosira granulata*, *Synedra acus* (kiezelwieren) en *Brachionus spec.* (raderdier).

Ook hieruit blijkt de herkomst van het zoete water. Het moet uit het open water van de polders afkomstig zijn, omdat daar deze organismen voorkomen. Kwelwater circuleert door de grond en de organismen kunnen door de nauwe poriën niet getransporteerd worden.

Uit deze waarnemingen kan eveneens besloten worden dat het uitgeslagen polderwater zorgt voor de daling van het zoutgehalte in het gedeelte van de Grevelingen tussen Herkingen-Battenoord en de afsluitingsdam, en dat de afvloeiing van water uit de Grevelingendam nauwelijks tot deze daling bijdraagt, maar dat door deze stroming uit de dam op de taluds ervan misschien microecologische omstandigheden te vinden zijn, die interessant zijn voor flora en fauna.

Onze dank gaat uit naar mevrouw G. L. J. Katsman-van Kruinigen voor



Afb. 5 - Longitudaal van de Grevelingendam. Isohalinen van grondwater in het dijklichaam.

haar peilschaal waarnemingen van het open water, de hulp bij de chloridetitraties en het uitvoeren van de plankton tellingen. Ook aan vele andere assistenten dank voor de hulp bij de chloridetitraties, die vele honderden bedroegen. De medewerking van de Rijkswaterstaat, dienstkring Zierikzee, welke instantie toestemming verleende om het transect te mogen boren en van het sluispersoneel te Bruinisse voor de gastvrijheid om de elektrische peilschalen te mogen aflezen, werd zeer op prijs gesteld. De heer drs. J. Stofkoper leende ons welwillend het apparaat de Geohm, en voerde de geoelektrische berekeningen uit. Prof. dr. ir. B. Verhoeven, drs. J. J. de Vries en dr. K. F. Vaas lazen het manus-

cript en gaven waardevolle aanwijzingen.

Samenvatting

De verticale getijbeweging werd nagegaan in een transect van de Grevelingendam. De zoutgehalten van het grondwater werd titrimetrisch en geoelektrisch bepaald. Een vergelijking van de hoeveelheden kwelwater en uitgeslagen polderwater leert dat de daling van het zoutgehalte die nabij de dam werd waargenomen, nagenoeg geheel door het polderwater wordt veroorzaakt. Het voorkomen van zoetwater planktonsoorten afkomstig uit het open water van de polders, in het oppervlaktewater van de Grevelingen ter plaatse, bevestigt deze conclusie.

Literatuur

1. Peelen, R., 1970. *Changes in salinity in the Delta area of the rivers Rine and Meuse resulting from a construction of a number of enclosing dams*. Neth. J. Sea Res. 5 (1), 1-19.
2. Rijkswaterstaat, 1960. Ontwerp voor de Grevelingendam. Driemaandelijks Bericht Deltawerken 15, 25-31.
3. Rijkswaterstaat, 1963. Tracé en dwarsprofiel Grevelingendam ter plaatse van de afsluiting van de noordelijke gaten. Driemaandelijks Bericht Deltawerken 335-338.
4. Schraaf, S. van der, 1969. *Handleiding voor het verrichten van geoelektrische metingen*. Landbouwhogeschool afd. Cultuurtechniek.
5. Wilderom, M. H., 1964. *Tussen Afsluitdammen en Deltadijken* 2, 18 en 88.
6. Rijkswaterstaat, 1961. De werken zuidwestelijk van de bouwput voor de schutsluis in het Haringvliet. Driemaandelijks Bericht Deltawerken 19, 12-17.
7. Weerd, B. van der, 1965. Apparatuur voor het meten van kwel. Cultuurtechnisch Tijdschrift 4, 6, 238-244.
8. Peelen, R., 1970. Mogelijkheden ter voorkoming van eutrofiëring van het Zeeuwse Meer en het Grevelingenbekken, Rapport Rijkswaterstaat Deltadienst 17-70.
9. Mazure, J. P., 1936. Kwel en chloorbezwaar in de Wieringermeer. Bijlage 10. Rapporten en Mededelingen betreffende de Zuiderzeewerken no. 5.