

---

# Tekortkomingen in het hydrologisch onderzoek als oorzaak van mislukkingen in het waterbeheer

Adriaan Volker

---

## Resumé

*De toegepaste hydrologie ('engineering hydrology'), zoals wij deze tegenwoordig kennen, is betrekkelijk laat tot volle ontwikkeling gekomen, eigenlijk pas na 1950 en dus belangrijk later dan de andere hulpwetenschappen die bij het ontwerpen van werken ten dienste van het waterbeheer toegepast worden, zoals de hydraulica en de toegepaste mechanica. Voordien moest ten aanzien van de hydrologische aspecten veelal gebruik worden gemaakt van ervaring, empirische regels en intuïtie en traden herhaaldelijk mislukkingen en tegenvallers op. Doch ook heden ten dage komen tegenvallers voor bij waterbouwkundige projecten als gevolg van tekortkomingen in het hydrologisch onderzoek. In deze bijdrage worden drie voorbeelden gegeven die betrekking hebben op de problemen van zoet en zout water in kustgebieden.*

*Het eerste voorbeeld is dat van de afsluiting van de Braakman in 1952 waarbij één van de doelstellingen was het scheppen van een reservoir met zoet water. De verwachting was dat na de afsluiting ontzilting zou optreden van het water in het afgesloten bekken evenals dat na de afsluiting van de Zuiderzee was opgetreden. Inderdaad werd ontzilting geconstateerd maar deze bleek slechts gedeeltelijk te zijn en het water bleef brak. Onderzoek wees uit dat de oorzaak van deze mislukking lag in het optreden van kwel in het reservoir van zout grondwater. Deze kwel was opgewekt door de verlaging van het reservoirpeil beneden het gemiddelde zeepeil.*

*Het uitblijven van een volledige ontzilting trad ook op in het tweede voorbeeld, dat van de afsluiting van een estuarium, Songei Jurong, op het eiland Singapore. Hier waren de geohydrologische omstandigheden niet de oorzaak van de mislukking, maar een onjuist beheer waarbij om het reservoir door te spoelen telkenmale zeewater werd binnengelaten dat moeilijk te verwijderen bleek.*

*Tenslotte worden de mislukte proeven behandeld die destijds op het Noordzeekanaal zijn genomen om het zoute water nabij de bodem van het kanaal te mengen met het bovenliggende zoete water teneinde het zout gemakkelijker te verwijderen.*

## Inleiding

In de ontwikkeling van de techniek zijn mislukkingen herhaaldelijk voorgekomen. Dit geldt in het bijzonder voor de techniek van de beheersing en het gebruik van het water. De grote technische prestaties uit de Oudheid zoals de drinkwatervoorziening en riolering van de stad Rome, de grootschalige irrigatiesystemen in Egypte, het Midden-Oosten en China moesten worden ontworpen op basis van ervaring, empirische regels en intuïtie, zo ook de

grote veenontginningen in Holland en Utrecht die het natuurlijke milieu radicaal veranderden.

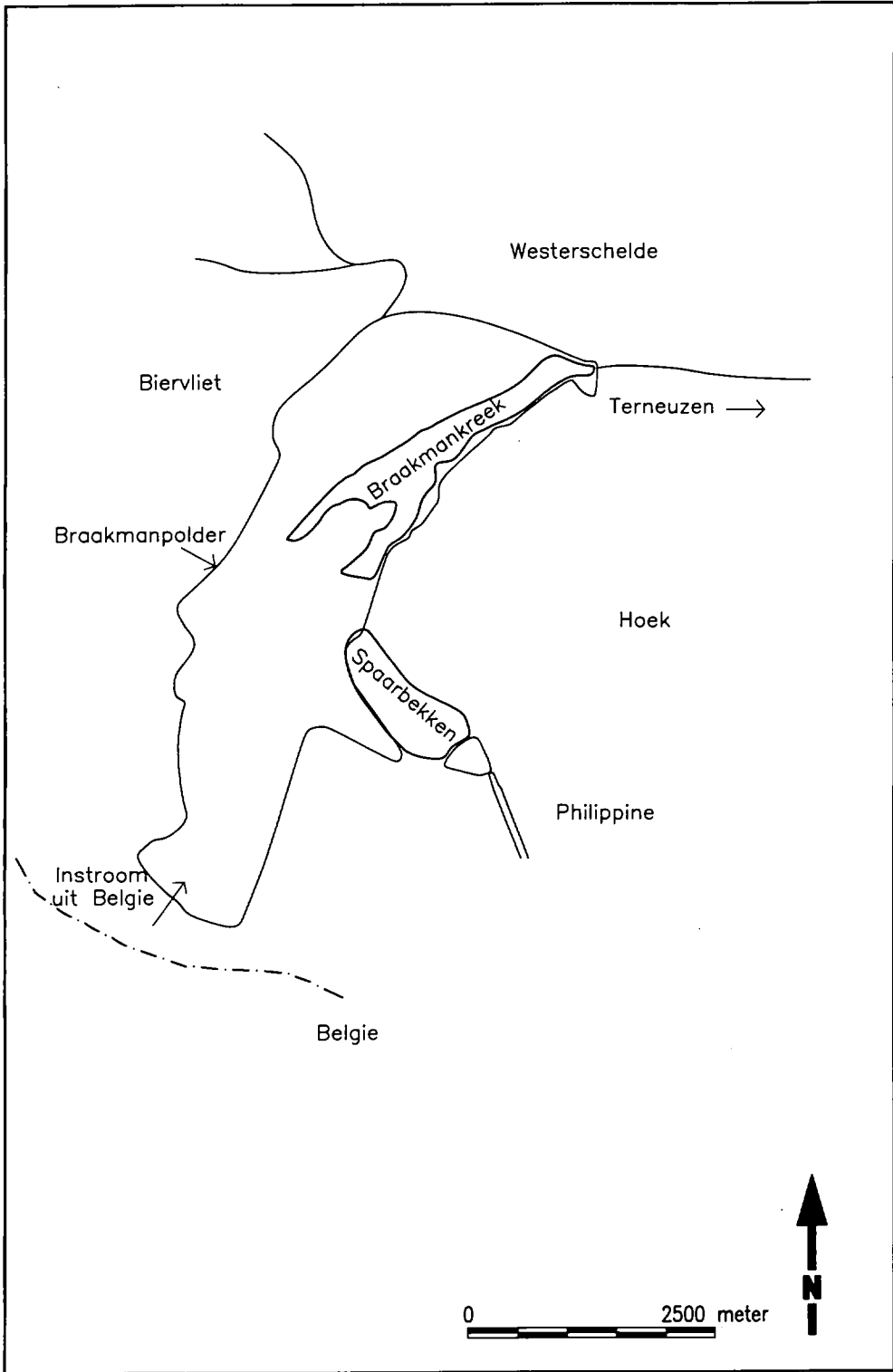
Niet zelden liep het mis, vooral wanneer het ging om projecten van een nieuw type of van een grote omvang. Soms faalde het project spoedig na voltooiing, soms bleek eerst op lange termijn tegenslag op te treden. De eerste 'grote' stuwdam in de wereld gebouwd circa 2900 jaar voor onze jaartelling in Egypte bezweek luttele jaren na de bouw (of vlak vóór de voltooiing), omdat de ontwerpers geen kennis hadden (en men kan hun dat moeilijk euvel duiden) van de berekening van de toevoer van regenwater in verhouding tot het volume van het stuwmeer. Evenmin mag men de ontwerpers van de irrigatiestelsels verwijten dat zij niet hebben voorspeld dat onder bepaalde omstandigheden op lange termijn verzilting van de gronden kan optreden. Het was ook moeilijk te voorzien dat de veenontginningen in Holland en Utrecht op lange termijn tot grote problemen van hoogwaterbescherming en ontwatering zouden leiden die in de loop der tijden steeds ernstiger zouden worden.

Eerst nadat de grondslagen van de hedendaagse mechanica en natuurkunde waren geformuleerd werd het mogelijk de hulpwetenschappen te ontwikkelen die voor elk waterproject moeten worden toegepast zoals hydrologie, hydraulica, toegepaste mechanica, grondmechanica en materiaalkunde. Van al deze wetenschappen kwam de toegepaste hydrologie het laatst tot volledige ontwikkeling; in feite was hiervan eerst na 1950 sprake. Hydraulica en toegepaste mechanica daarentegen waren een vijftigtal jaren eerder als waardevolle instrumenten ter beschikking gekomen.

Het gevolg was dat in de twintigste eeuw de meerderheid van de gevallen van mislukte waterbouwkundige projecten en werken is toe te schrijven aan een tekort aan hydrologische kennis of hydrologische informatie en niet aan structurele tekortkomingen. Doch ook in onze tijd loopt het wel eens mis als gevolg van fouten en misslagen. Doorgaans wordt over deze mislukkingen, die zeer leerzaam zijn, weinig gepubliceerd. Hieronder volgen drie van zulke gevallen die betrekking hebben op de problemen van zoet en zout water in kustgebieden.

### *1 De afsluiting van de Braakman in Zeeuws-Vlaanderen*

De 'Braakman' was een inham in de bedijking van de zuidelijke oever van de Westerschelde. Het gebied (circa 13 km<sup>2</sup>) bestond uit getijgeulen en schorren (kweldergronden) en ontving water uit een deels in België gelegen afwateringsgebied. In het begin van de vijftiger jaren werd besloten de inham af te sluiten van het zoute water van de Westerschelde door middel van een afsluitdam met een uitwateringssluis (figuur 1). Tegenwoordig zou een dergelijk voornemen op een felle weerstand van de zijde der milieu-organisaties stuiten, maar die bestonden toen nog niet en de term milieu had een geheel andere betekenis. Wat wel meetelde in het beleid waren de belangen van veiligheid (kustverkorting), landaanwinning (de schorren) en bestrijding van de verzilting, dus zaken waaraan Zeeland zijn voortbestaan te danken had. Het succes van de afsluiting en gedeeltelijke droogmaking van de Zuiderzee werkte natuurlijk inspirerend.

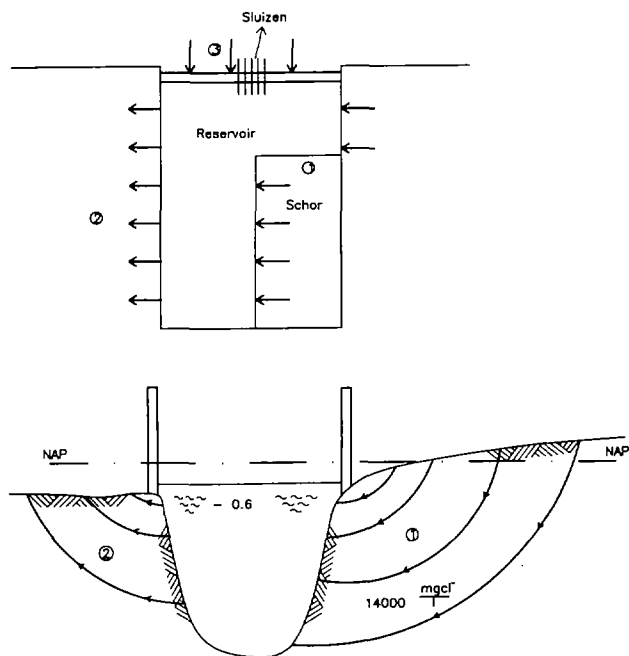


Figuur 1: Braakman en omgeving

Een van de effecten die door de afsluiting van de Braakman werd verwacht was de ontziltiging van het water in het afgesloten bekken zoals ook na de afsluiting van de Zuiderzee was opgetreden. Deze ontziltiging zou het gevolg zijn van de instroming van zoet water uit het afwateringsgebied van 1500 hectaren dat zich mengt met het brakke water in het bekken en de lozing naar zee of naar elders van het overschot van water op de waterbalans.

Op grond hiervan werd verwacht dat het water in de Braakman na afsluiting zoet zou worden. Er werd geen geohydrologisch onderzoek ingesteld omdat de zaak geheel een kwestie van oppervlaktewater leek. De verwachte ontziltiging bleef echter uit; ook geruime tijd na de afsluiting daalde het zoutgehalte van het water in het reservoir niet beneden ca. 4000 mg/l Cl<sup>-</sup>.

De verklaring voor deze onverwachte tegenslag bleek niet eenvoudig. Onderzoek van het water uit het afwateringsgebied dat langs de oppervlakte het reservoir bereikte, toonde aan dat het zoutgehalte van dit water laag was en geen belangrijke zoutbron kon zijn. De gedachten gingen dus uit naar het grondwater. Nu werd het gemiddelde peil van het reservoir steeds laaggehouden, namelijk op NAP -0,60m. Daarmede was het mogelijk de schorgronden voor de landbouw te gebruiken zonder te moeten overgaan tot bekading en bemaling. Daar dit peil meer dan 0,6 m onder het gemiddelde peil op de Westerschelde lag, bestond de mogelijkheid dat zeewater onder de afsluitdam door, tot het reservoir zou doordringen. Dit bleek inderdaad het geval te zijn, maar de hoeveelheid zout die langs deze weg het reservoir bereikte, bleek te klein om het hoge zoutgehalte van het reservoirwater te kunnen verklaren. Er moest dus nog een ondergrondse zoutbron bestaan en dus werd een volledig geohydrologisch onderzoek ingesteld naar de Braakman en de omliggende gebieden. Hierbij werd gebruik gemaakt van geo-elektrische metingen ter bepaling van het zoutgehalte van het diepe grondwater en van water-zoutbalansen. Het resultaat is weergegeven in onderstaand schema (figuur 2).



Figuur 2: Kwelstromingen in het Braakmanreservoir

Er bleek een instroming (1) te bestaan uit het oosten die door de peilverlaging ten opzichte van NAP is opgewekt. Daar het zoutgehalte van dit water zeer hoog is (14000 mg/l Cl<sup>-</sup>) vormt deze instroming een belangrijke post op de hieronder weergegeven zoutbalans. De aanliggende gronden ten westen van de Braakman liggen lager dan die ten oosten en het gevolg is een verlies van het water uit het reservoir naar het westen (2).

De waterbalans laat het volgende zien:

Volumina in een gemiddeld jaar (in 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			
Instroming		Uitstroming	
uit afwateringsgebied	3,00	verlies naar het westen	1,64
regen	1,05	lozing naar zee	2,77
kwel uit oosten (1)	1,09	verdamping	0,90
kwel onder dam (3)	0,18		
	<b>5,32</b>		<b>5,32</b>

De zoutbalans volgt uit de waterbalans en de zoutgehalten van het water:

Hoeveelheden zout in een gemiddeld jaar (in 10 <sup>6</sup> kg Cl <sup>-</sup> )			
Instroming		Uitstroming	
uit afwateringsgebied	0,3	verlies naar het westen	6,68
regen	0,02	lozing naar zee	11,54
kwel uit oosten (1)	15,34	verdamping	-
kwel onder dam (3)	2,56		
	<b>18,22</b>		<b>18,22</b>

Aannemende dat het water in het reservoir volledig gemengd is kan het zoutgehalte van het water in het meer als jaargemiddelde worden berekend uit:

$$\bar{c} = \frac{\text{geloosde hoeveelheid zout}}{\text{geloosde volume water}} = \frac{18,22 \times 10^6 \text{ kg Cl}^-}{(1,64 + 2,77) \times 10^6 \text{ m}^3} = 4,1 \frac{\text{kg Cl}^-}{\text{m}^3} = 4100 \frac{\text{mg Cl}^-}{\text{l}}$$

Het voorbeeld is ook daarom instructief omdat het opnieuw laat zien hoe gevoelig in delta-gebieden het grondwaterregime is voor kleine veranderingen in de stand van het oppervlaktewater.

## 2 De afsluiting van Songei Jurong op het eiland Singapore

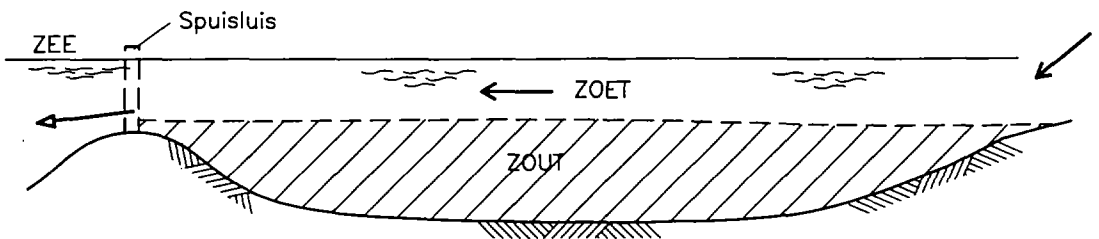
Afsluiting van estuaria en andere inhammen waarin rivierwater uitstroomt teneinde de afgesloten bekkens voor uiteenlopende doeleinden te gebruiken is behalve in Nederland in vele kustgebieden toegepast (Japan, Frankrijk, Duitsland, Egypte, Bangladesh, Vietnam, China, etc.). Zo ook op het eiland Singapore waar na 1960 een snelle industriële ontwikkeling plaats vond. Dit leidde tot een aanzienlijk grotere behoefte aan water van goede kwaliteit waaraan de beperkte hulpbronnen van het eiland niet konden voldoen. Alle mogelijkheden moesten dus worden benut en zo werd besloten voor de watervoorziening van industrivestigingen over te gaan tot opslag van het water van een kleine rivier, de Songei Jurong die via een inham aan de zuidzijde van het eiland in zee uitmondt. Daartoe werd

een afsluitdam met spuisluisen gebouwd en vervolgens was het wachten op de ontzilting van het water in het afgesloten bekken. Inderdaad daalde het zoutgehalte aanzienlijk maar bleef, evenals bij de Braakman, hoog. Ook toen mocht worden verwacht dat de eindwaarde praktisch was bereikt.

De autoriteiten besloten een beroep op Nederlandse ervaring te doen en zo togen wij, gewapend met geleidingsmeters, monsternemers en andere meetinstrumenten, naar Singapore. Gedurende een paar weken werd het reservoir en omgeving grondig onderzocht. Gedächtig aan het probleem van de Braakman werd bijzondere aandacht besteed aan een eventueel optreden van zoute kwel aan het aangrenzende hogere gebied en van mogelijke kwel onder de afsluitdam. Ook werd aandacht besteed aan de chemische samenstelling van het afvalwater van de industrieën die daarop lozen, legaal of illegaal. Maar geen spoor van een toevoer van zout van enige betekenis. Op het punt staande de zaak op te geven, besloten wij om nog een toeristische rondrit over het eiland te maken. De weg leidde over de afsluitdam en natuurlijk stapten we even uit om het zorgkind voor een laatste maal te aanschouwen. Het was hoogwater op zee en tot onze verbazing zagen we hoe door de openstaande sluiten het zeewater met kracht naar binnen stroomde. Op de vraag aan onze collega's of dit soms een vergissing was, werd geantwoord dat dit inlaten geregeld werd toegepast wanneer door de lozing van industrieel afvalwater het water in het reservoir te zeer verontreinigd was. Zou dan deze handelwijze—zo vroegen we ietwat aarzelend verder—soms de oorzaak kunnen zijn van het uitblijven van een volledige ontzilting van het water in het reservoir?

De zaak werd verder uitgelegd als volgt. Het binnenkomende zeewater verdringt het verontreinigde water naar zee en het reservoir wordt natuurlijk gevuld met zout water. Dit water wordt echter weer uit het reservoir verwijderd wanneer bij de eerstkomende zware tropische regenbui de rivier een grote hoeveelheid zoet water aanvoert dat het bekken doorspoelt en het binnengelaten zeewater weer uitspoelt.

Het kostte enige moeite om onze collega's uit te leggen dat dit laatste nu juist niet gebeurt en dat het zoute water door een 2,5 à 3,0% hogere dichtheid dan zoet water in het reservoir achterblijft terwijl het zoete water wegstroomt.



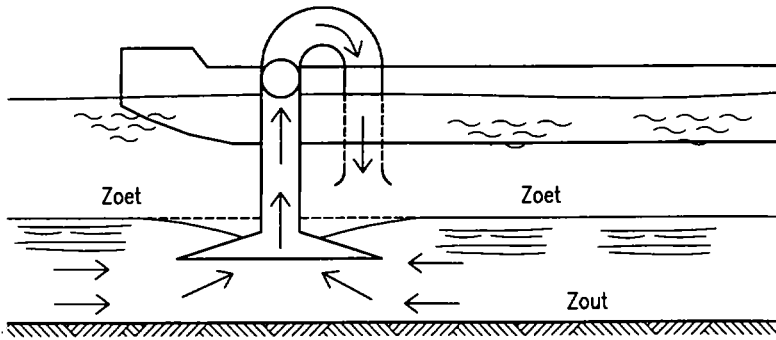
**Figuur 3:** Achterblijven van zout water tijdens spuien

Natuurlijk verdwijnt het zoute water weer geleidelijk door turbulente diffusie en menging maar dit vraagt geruime tijd en door periodiek inlaten van zeewater moet men telkens opnieuw ontzilten.

### 3 Menging van zoet en zout water in het Noordzeekanaal

Wat de ingenieurs van Singapore niet konden voorspellen had men in Nederland door de ervaring, onder andere bij het Noordzeekanaal en de Afsluitdijk geleerd, namelijk dat het moeilijk is om het zoute water uit een reservoir of kanaal dat ook zoet water bevat te verwijderen. Door zijn grotere dichtheid blijft het zoute water achter en mengt slecht met het zoete water erboven. Zou men een min of meer homogeen mengsel kunnen maken, dan zou het zout wel verwijderd kunnen worden en zou dus het zoutgehalte van het water in het Noordzeekanaal kunnen verminderen. Er werd besloten een proef op praktijkschaal te nemen.

Op een grote ponton (figuur 4) werden drie pompen geplaatst waarvan de openingen van de zuigbuizen tot in het zoute water reikten.



Figuur 4: Oppompen van zout water

De onderzijde van de zuigbuizen waren van wijde trechters voorzien teneinde de intredesnelheid laag te houden. Deze snelheid bepaalt namelijk de afzinking van het grensvlak tussen het zoete en zoute water. Wordt deze afzinking te groot, dan bereikt het grensvlak de onderkant van de trechter en treedt het zoete water binnen terwijl het zoute water achterblijft. Dit was voorzien en inderdaad werd het diepe zoute water naar de oppervlakte gepompt en daar geloosd. Er gebeurde echter niet wat men gehoopt had: het zoute water verspreidde zich niet, maar dook direct naar beneden zonder zich met het omringende zoete water te mengen. Het enige effect van het pompen was dus dat hetzelfde water werd rondgepompt, een onverwacht negatief resultaat.

Later werd nog getracht menging te bereiken door het inblazen van luchtballen onderin de laag met zout water. De opstijgende luchtballen veroorzaken een turbulente stroming in het water dat de menging bevordert. Er werd een duidelijk effect geconstateerd maar de, in verhouding tot het effect, hoge kosten vormen een belemmering voor praktische toepassing. Voorshands bestaat de enige oplossing van het probleem uit het oppompen van het zoute water en het afvoeren naar zee door een gesloten leiding.

Prof. ir. A. Volker  
Westlaan 106  
2641 DP Pijnacker

