

Foto © Philip Minderhoud



In de Mekong delta vindt veel transport over water plaats

## AUTEURS

Philip Minderhoud  
(Utrecht University / Deltares)

## DE MEKONG DELTA DREIGT TE VERDRINKEN DOOR HET OPPOMPEN VAN GRONDWATER

De Mekong delta in Vietnam is één van de grootste delta's ter wereld. De bevolking is sterk gegroeid, evenals landbouw en industrie. Om in de waterbehoefte te voorzien, is de afgelopen 20 jaar de grondwaterwinning verveelvoudigd. Dit geeft problemen: het grondwater is vele meters gedaald (tot wel 20 meter) en de bodem is gemiddeld ongeveer 18 centimeter gezakt. Als de bodemdaling doorzet, leidt dit onvermijdelijk tot overstromingen. Om dit proces beter te doorgronden en in de toekomst te kunnen bijsturen, is de aanwezige kennis over bodem en grondwater in de delta gebruikt om een simulatiemodel te ontwikkelen.

De Mekong delta, grotendeels gelegen in Vietnam (afbeelding 1), is de op twee na grootste delta ter wereld en heeft meer dan 17 miljoen inwoners. Het gebied is zeer vruchtbaar en de totale voedselproductie voorziet bijna 200 miljoen mensen van voedsel. De delta heeft een hoogteligging van gemiddeld één meter boven de zeespiegel en is hierdoor zeer kwetsbaar voor zowel zeespiegelstijging als bodemdaling. De sterke toename in agrarische

Afbeelding 1. De Mekong delta (MKD) in het zuiden van Vietnam (Minderhoud et al. 2017)

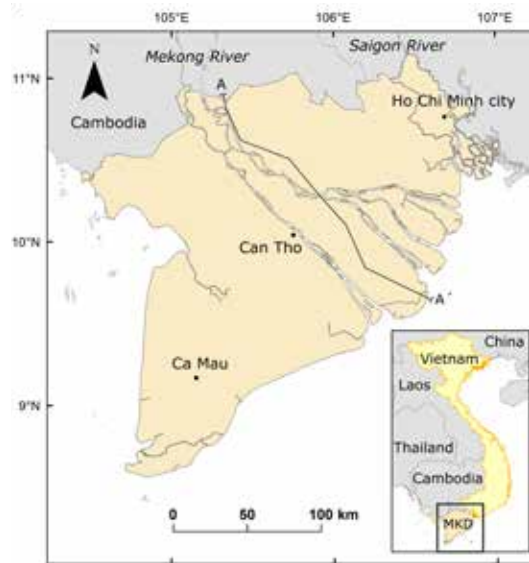
en industriële activiteiten, verstedelijking en een sterk groeiende bevolking, hebben er in de afgelopen 25 jaar toe geleid dat de (grond)watervraag flink is toegenomen. Werd er aan het begin van deze eeuw nog zo'n 600.000 m<sup>3</sup> grondwater per dag onttrokken, is dat nu meer dan 2,5 miljoen m<sup>3</sup> per dag.

De ondergrond van de Mekong delta bestaat uit een opeenstapeling van zandige watervoerende pakketten, die van elkaar gescheiden worden door dikke, slecht doorlatende kleilagen. Op sommige plaatsen is de totale dikte van de sedimenten meer dan een halve kilometer. Omdat oppervlaktewater en water in de ondiepe ondergrond vaak van slechte kwaliteit zijn door vervuiling en, in toenemend mate, door verzilting, wordt er steeds meer grondwater onttrokken. Wanneer er meer water wordt opgepompt uit een watervoerend pakket dan dat er wordt aangevuld, neemt de waterdruk af. Daardoor neemt de effectieve druk op het korrel skelet van de sedimenten toe, wat ertoe kan leiden dat de sedimenten in de ondergrond in elkaar gedrukt worden (consolidatie).

De waterwinning heeft voor een gestage afname van de grondwaterdruk gezorgd in bijna alle watervoerende pakketten, ook in de kleilagen. De zandige lagen zijn hier slechts in beperkte mate vatbaar voor. Fijnkorrelige afzettingen zoals klei (en ook veen) worden daarentegen gemakkelijk samengedrukt. Dit is één van de hoofdoorzaken van de bodemdaling in de Mekong delta.

#### Nieuw hydrogeologisch model van de Mekong delta

In het kader van het 'Rise and Fall' project, een Nederlands-Vietnamees onderzoeksproject van de Universiteit Utrecht, Deltares en TNO in samenwerking met Vietnamese universiteiten en overheidsinstanties, wordt onderzoek gedaan naar bodemdaling in de Mekong delta. Een van de onderzoeksdoelen is om te bepalen welke invloed de toename van grondwaterwinning in de afgelopen 25 jaar heeft gehad op bodemdaling.



Om deze vraag te beantwoorden is er een nieuw 3D hydrogeologisch computermodel ontwikkeld op basis van hydrologische, geologische en geotechnische datasets. Het merendeel van deze data is afkomstig van de 'Division of Water Resources Planning and Investigation of the South of Vietnam' (DWRPIS), een overheidsinstantie die onderdeel is van het Vietnamese ministerie van Natuurlijke grondstoffen en Milieu. Het model is gemaakt in iMOD, de open-source Deltares software gebaseerd op MODFLOW voor het simuleren van grondwaterstroming.

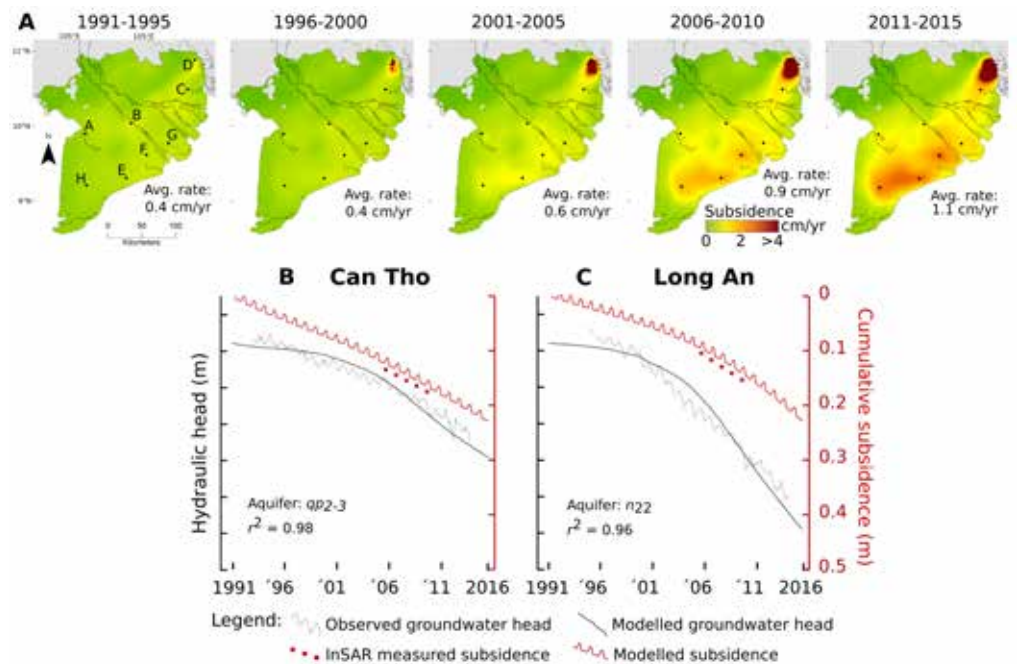
Eerst is een 3D model van de ondergrond gemaakt op basis van boorkernen en geologische dwarsdoorsneden van de Mekong delta. Daarmee is vervolgens een hydrogeologisch model gebouwd op basis van metingen van neerslag en verdamping en hoeveelheden oppervlaktewater, inclusief locaties van onttrekkingsputten met filterdieptes en opgepompte volumes grondwater. Met dit model is de ontwikkeling van de grondwaterstand in de Mekong delta gesimuleerd voor de periode 1991-2015. Het model is gekalibreerd door de uitkomsten te vergelijken met 70 tijdseries van grondwaterstandmetingen verspreid over de delta.

De gevolgen voor de bodemdaling zijn berekend door het model te koppelen aan een nieuwe, geotechnische iMOD module genaamd SUB-CREEP. Deze module berekent bodemdaling door zowel de elastische als de plastische vervorming van de ondergrond door verandering in waterdruk vast te stellen volgens de 'isotache'-methode.

Mekong Delta  
dreigt te  
verdrinken

32

Afbeelding 2.  
a) Gemiddelde jaarlijkse bodemdaling als gevolg van grondwateronttrekking per vijfjarige periode. b-c) Gemodelleerde en gemeten grondwaterstanden en totale bodemdaling voor twee locaties in de delta, Can Tho city and Long An Province. De fluctuaties in de bodemdaling geven weer dat de ondergrond uitzet in het natte seizoen en zakt in het droge seizoen



### Het effect van toenemende grondwater-onttrekkingen

Aan het begin van de jaren '90 waren de grondwaterstanden in de ondergrond van de Mekong delta nagenoeg onverstoord, maar sindsdien is de hoeveelheid opgepompt water vele malen groter dan er van nature wordt aangevuld. Op een aantal locaties is het grondwater zelfs meer dan 20 meter gedaald, bijvoorbeeld rondom steden als Ho Chi Minh City en Ca Mau. Deze forse drukverlagingen hebben voor een toenemende bodemdaling in de Mekong delta gezorgd (afbeelding 2a). Was de gemiddelde bodemdaling in de delta begin jaren '90 nog minder dan een halve centimeter per jaar, deze snelheid is inmiddels meer dan verdubbeld. Overigens duurt het enige tijd voordat de drukverlagingen doordringen in de slecht doorlatende, kleiige pakketten die het meest gevoelig zijn voor bodemdaling. Daardoor reageert de bodemdaling vertraagd op de afname van grondwaterdruk in een watervoerend pakket.

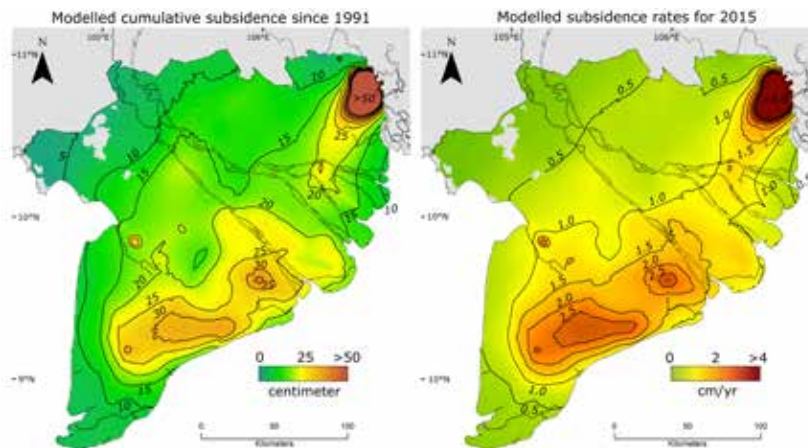
Afbeelding 2b en 2c geven een gedetailleerd beeld van zowel de gemeten als de gemodelleerde grondwaterstand en bodemdaling voor twee locaties in de delta. Het model blijkt de gemeten grondwaterstanden en bodemdalingssnelheden behoorlijk goed te simuleren. Afbeelding 3 toont de gemodelleerde totale bodemdaling in de delta ten gevolge van 25 jaar grondwaterwinning en de dalingssnelheid in 2015. De Mekong delta is gemiddeld met ongeveer 18 cen-

timeter gezakt met lokaal dalingen richting een halve meter. Het model geeft aan dat de delta op dit moment met gemiddeld 1,1 centimeter per jaar daalt, met lokaal snelheden van meer dan 2,5 centimeter per jaar. In het gebied rond Ho Chi Minh stad gaat het om dalingen van meer dan 4 centimeter per jaar.

### De Mekong delta zakt sneller dan de zeespiegel stijgt

Sommige delen van de delta zakken dus met meerdere centimeters per jaar en deze bodemdaling gaat steeds sneller. De snelheden liggen een stuk hoger dan de zeespiegelstijging door klimaatverandering (de absolute zeespiegelstijging lokaal bedraagt 3 millimeter per jaar). Dit zijn alarmerende resultaten, want door zijn lage ligging van gemiddeld 1 meter boven zeeniveau is de Mekong delta zeer kwetsbaar voor bodemdaling. In de afgelopen 25 jaar heeft de delta zo'n 20 procent van zijn totale hoogte boven de zeespiegel verloren. Dit probleem zal in de nabije toekomst alleen maar verder toenemen.

De bodemdaling in de delta wordt bepaald door de optelsom van verschillende factoren: zeespiegelstijging, bodemdaling door grondwaterwinning maar ook door andere processen, zoals natuurlijke samendrukking (compactie) en de afzetting van nieuw sediment tijdens overstromingen. In een natuurlijke situatie zijn deze processen in een dynamisch evenwicht en compenseert sedimentatie voor de bodemdaling.



Afbeelding 3.  
Links: Totale bodemdaling in de Mekong delta sinds 1991. Rechts: gemodelleerde snelheid van de bodemdaling voor 2015 (Minderhoud et al. 2017)

Echter de hoeveelheid sediment in de Mekong rivier neemt af door bovenstroomse dammen, en het steeds effectievere dijksysteem in de delta zorgt voor minder overstromingen. Bovendien zakt de delta nu vele malen sneller dan überhaupt door sedimentatie kan worden gecompenseerd.

Om verdrinking van de Mekong delta binnen enkele decennia te voorkomen, moet het grondwatergebruik op korte termijn sterk worden verminderd. Dat vraagt om grootschalige veranderingen zoals het opzetten van alternatieve zoetwatervoorzieningen (bijvoorbeeld gefilterd oppervlaktewater). Daadkrachtige en resolute maatregelen zijn noodzakelijk om ervoor te zorgen dat de Mekong delta in de toekomst nog boven de zeespiegel ligt.

#### Naar toekomstscenario's voor mega-delta's

De gebruikte modelaanpak in combinatie met de nieuwe bodemdalingsmodule, stelt ons in staat om voor grote gebieden, in dit geval een mega-delta, het effect van grondwaterwinning op bodemdaling te kwantificeren. Deze aanpak is in principe toepasbaar in elk gebied waar grondwater wordt gewonnen, mits er genoeg data bekend zijn over de ondergrond en de hydrologie (grondwaterstanden en onttrekkingen). Daarnaast bieden dit soort modellen de mogelijkheid om toekomstscenario's door te rekenen. Hiermee wordt het mogelijk om gedegen adviezen uit te brengen ter ondersteuning van bijvoorbeeld het ontwikkelen van delta management strategieën. Dit is dan ook de volgende stap in het bodemdalingsonderzoek van het Rise and Fall project, met als doel te kunnen bijdragen aan een duurzame toekomst van de Mekong delta.

Philip Minderhoud  
(Utrecht University / Deltares)

#### Bronnen

Minderhoud, P.S.J., Erkens, G., Pham, V.H., Bui, V.T., Erban, L., Kooi, H., Stouthamer, E., 2017. Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. Environ. Res. Lett. 12. doi:10.1088/1748-9326/aa7146



Link naar het video-abstract van dit onderzoek:

[https://www.youtube.com/watch?v=cMr\\_BKzY4IU](https://www.youtube.com/watch?v=cMr_BKzY4IU)

#### SAMENVATTING

De grondwaterwinning in de Vietnamese Mekong delta is in de afgelopen 25 jaar enorm toegenomen als gevolg van de sterk groeiende economie en het toenemende bevolkingsaantal. Doordat de grootschalige onttrekking de natuurlijke aanvulling van het grondwater verre overtreft, is overal in de delta de bodem gedaald. Vooral de kleilagen tussen de watervoerende zandpakketten klinken in. De huidige snelheden van bodemdaling liggen tot tien keer hoger dan de zeespiegelstijging door klimaatverandering. Met een nieuw 3D hydrogeologisch model van de Mekong Delta zijn de grondwaterstromingen en onttrekkingen van de afgelopen 25 jaar gesimuleerd. Het model is gekoppeld aan een module waarmee de bodemdaling is berekend. De volgende stap met deze modelaanpak is het genereren van toekomstscenario's voor de delta.

Mekong Delta dreigt te verdrinken