

---

# Droogte in de Hoorn van Afrika Ontwikkeling van de Merti aquifer in noordoost Kenia

Arjan Oord<sup>1</sup>

---

## Inleiding

Op het moment van schrijven van dit artikel (september 2011) heeft de Hoorn van Afrika te kampen met de ernstigste droogte in decennia. In Ethiopië, Djibouti, Kenia, Somalië en Oeganda zijn miljoenen mensen getroffen door de hiermee gepaard gaande hongersnood. Veel Somaliërs die sinds de jaren negentig van de vorige eeuw gevlucht voor de burgeroorlog en recentelijk voor de aanhoudende droogte, zoeken hun toevlucht in vluchtelingenkampen in noordoost Kenia (Dadaab regio). De omvang van deze vluchtelingenkampen is hierdoor gestaag toegenomen. Als gevolg van de huidige droogte en hongersnood is de omvang sinds het tweede kwartaal van 2011 verder toegenomen van 320.000 tot meer dan 435.000 mensen op 30 augustus 2011 (CARE, 2011).

Naast de acute droogteproblematiek speelt in noordoost Kenia al decennialang het vraagstuk over de beschikbare hoeveelheid (zoet) grondwater en de mogelijkheden en beperkingen voor uitbreiding van drinkwaterwinning. Door het toenemend aantal vluchtelingen in de kampen is de druk op de watervoorzieningen in het gebied sterk toegenomen. Een groot deel van het drinkwater in het gebied wordt gewonnen uit de Merti aquifer. Ondanks diverse hydrologische studies in het verleden bestaat er grote onzekerheid over aard en omvang van het grondwatersysteem. Met name over de grondwateraanvulling bestaan onvoldoende inzichten. Een integraal beeld van het grondwatersysteem is onontbeerlijk voor toekomstige ontwikkeling van de drinkwatervoorziening in het gebied.

In 2011 is op initiatief van de vluchtelingenorganisatie van de VN (UNHCR) een project gestart om het grondwatersysteem van de zogenaamde Merti Aquifer te analyseren. Het doel van deze studie is om de beschikbare hoeveelheid grondwater en duurzame onttrekkingsdebieten te bepalen. Daarnaast dienen locaties voor puttenvelden voor uitbreiding van de drinkwaterwinning te worden geïdentificeerd en een monitoringsstrategie te worden ontworpen. Hiertoe zijn de in de afgelopen decennia verzamelde gegevens met betrekking tot het grondwatersysteem geanalyseerd. Op basis daarvan wordt een numeriek grondwatermodel van het gebied opgesteld.

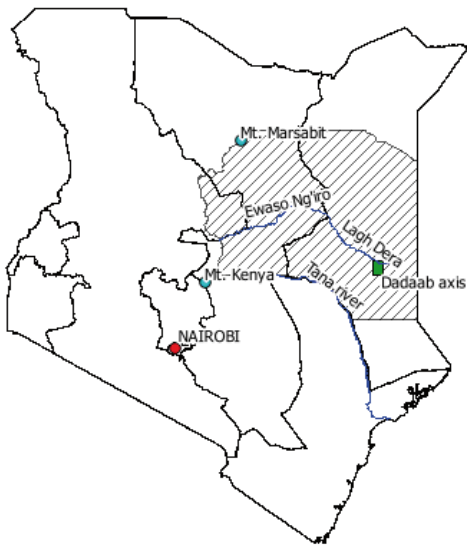
---

<sup>1</sup> **Arjan Oord** is werkzaam bij Oord Water Services, Gounodstraat 22, 6904 HD Zevenaar) (a.oord@o-waterservices.com)

## Dadaab regio

Het noordoosten van Kenia wordt voornamelijk bevolkt door nomaden. De watervoorziening voor dit dunbevolkte gebied bestaat uit natuurlijke meertjes, reservoirs, ondiepe en diepe grondwaterputten (boreholes). Grondwater, de belangrijkste watervoorziening, wordt veelal opgepompt van relatief grote diepte (100 – 200 m) uit de Merti Aquifer. Dit grondwatersysteem is gelegen in de North-Eastern en Eastern Provinces van Kenia en strekt zich uit tot in Somalië. Per jaar wordt ongeveer drie miljoen kubieke meter water gewonnen ten behoeve van de watervoorziening voor vluchtelingenkampen, en anderhalf miljoen kubieke meter per jaar voor rurale woonkernen en vee.

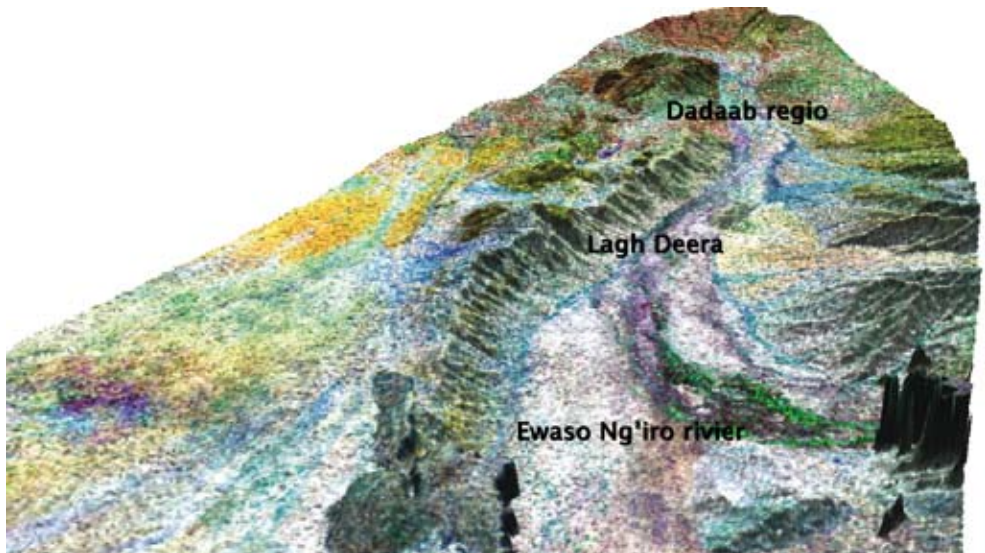
Voor het onderzoek zijn het centrale deel van de aquifer en omliggende stroomgebieden beschouwd (zie afbeelding 1). De hoogste gebieden liggen in het westen en worden gevormd door de noordelijke flank van Mt. Kenya en de zuidelijke flanken van Mt. Marsabit (hoogste punt studiegebied: circa 1500 m boven zeeniveau). In oostelijke richting neemt de hoogte geleidelijk af tot circa 100 m boven zeeniveau. Met een gemiddelde jaarlijkse neerslag van 150 tot 350 mm per jaar en een potentiële evapotranspiratie van circa 3000 mm per jaar is het gebied erg droog. Regenval is over het algemeen geconcentreerd in korte, hevige buien, lokaal van aard en is beperkt tot een tweetal korte regenseizoenen (maart-mei en oktober-december). De hoger gelegen gebieden ontvangen meer neerslag (Mt. Marsabit: 500 tot 1000 mm per jaar).



**Afbeelding 1:** Ligging onderzoeksgebied en Dadaab regio.

Een tweetal rivieren in het gebied voert het hele jaar door water: de Ewaso Ng'iro en de Tana. Beide ontspringen op de flanken van Mt. Kenya. Van deze twee speelt de Ewaso Ng'iro (gemiddeld afvoerdebiet 633 miljoen m<sup>3</sup> per jaar) de belangrijkste rol in het grondwatersysteem; deze rivier stroomt naar het centrale deel van de Merti Aquifer, waar de rivier overgaat in de seizoenale Lagh Dera rivier en mogelijk bijdraagt aan grondwateraanvulling.

De geologie van het gebied wordt bepaald door de Anzaslenk. De slenk loopt vanaf de kust landinwaarts tot in Zuid-Soedan en heeft een belangrijke invloed op de grondwaterstroming. De slenk werd gevormd in het Krijt door extensie van de aardkorst die mogelijk samenhangt met de scheiding van Madagaskar en het Afrikaanse continent. De slenk bleef actief tot het Mioceen en is opgevuld met een meer dan 3 km dikke sequentie van mariene en continentale Mesozoïsche tot Miocene sedimenten in een reeks van geroteerde breukblokken. Deze sedimenten worden bedekt door een vlak liggende reeks afzettingen van laat Miocene tot recente ouderdom. Tijdens het Neogeen vormde zich aan de noordkant van de slenk het vulkanische Marsabit plateau. De Anzaslenk wordt aan de noord- en zuidzijde begrensd door grootschalige breuken en veelal door Precambrische kristallijne gesteenten. Afbeelding 2 illustreert de topografische verschillen in het centrale deel van de Anzaslenk.



**Afbeelding 2:** 3D verticaaloverdren (100x) overzicht van het centrale deel van de Anzaslenk als Landsat false-colour, gezien in oostwaartse richting.

### Merti aquifer

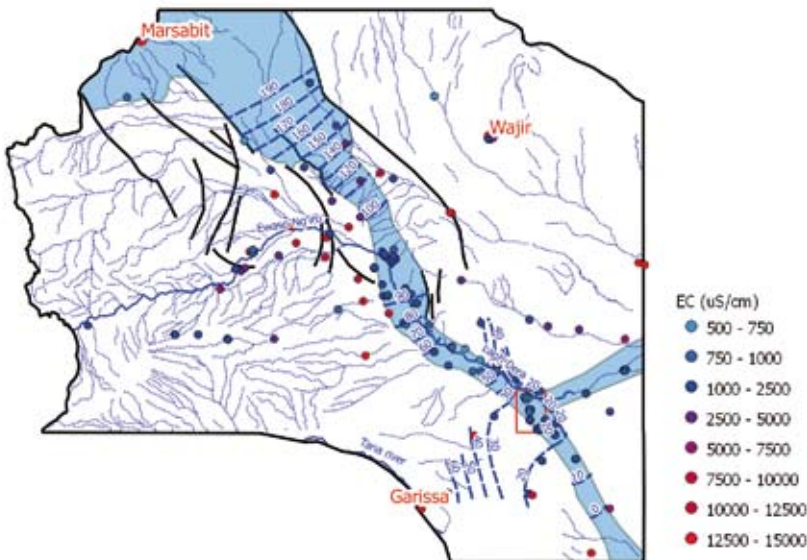
De Merti aquifer is de belangrijkste zoetwaterbron in dit gebied en wordt over het algemeen gedefinieerd als een eenheid van diepe, goed doorlatende watervoerende lagen binnen de Merti formatie. De Merti formatie bestaat uit veelal scheefgestelde fluviaatiele en lacustriene Miocene sedimenten, doorsneden door diverse breuksystemen, waarop jongere alluviale en colluviale post-riftsedimenten zijn afgezet.

Het centrale deel van de aquifer, dat globaal de bedding van de Lagh Dera volgt, is zandig ontwikkeld en bevat grondwater van voldoende kwaliteit voor drinkwater. De permeabele watervoerende lagen worden over het algemeen aangetroffen op een diepte van circa 100 tot 150 m beneden maaiveld. Het centrale deel van de aquifer heeft een breedte variërend van 20 km tot 90 km en een totale lengte van 200 km.

Het zoetwaterlichaam wordt aan de noord- en zuidzijde begrensd door zones met zout grondwater. In deze zones is de Merti formatie vooral kleilig van aard.

De exacte dikte van de aquifer is niet bekend; diktegegevens (evenals hydraulische eigenschappen, gebaseerd op pompproeven in de Dadaab regio en proefonttrekkingen in de periferie van de aquifer) zijn gebaseerd op informatie van boreholes, die de aquifer vaak niet volledig penetreren. De minimale bekende dikte bedraagt gemiddeld 10 tot 20 m. Buiten het centrale deel van de aquifer zijn weinig gegevens van de bodemopbouw bekend, waardoor de begrenzing van de aquifer op basis van geologie moeilijk is vast te stellen. In voorgaande studies wordt daarom de verdeling van zoet en zout grondwater als begrenzing van de aquifer gehanteerd. Indien er hydraulisch contact bestaat tussen de zoete en zoute zones is deze begrenzing op zijn minst onvolledig en is daarom opnieuw beschouwd.

Om te komen tot een betere definitie van de begrenzing en hydrologische eigenschappen van de Merti aquifer, is het studiegebied onderverdeeld in zones, gebaseerd op geologie en bodemopbouw, stijghoogtegegevens en grondwaterkwaliteit. Hierbij is gebruik gemaakt van beschikbare geologische literatuur, *boreholelogs*, monitoringsgegevens en Landsat satellietbeelden. Opvallend is dat op korte afstand grote sprongen in stijghoogte en grondwaterkwaliteit worden waargenomen. Dit duidt erop dat de grondwaterstroming wordt beïnvloed door slecht doorlatende breuken, analoog aan bijvoorbeeld de stijghoogteverschillen over breuken in zuidoost Nederland (Bense, 2002). De aquifer is hierdoor op verschillende plaatsen duidelijk gecompartmentaliseerd. Binnen de aquifer stroomt het grondwater van het hoger gelegen Marsabit plateau in zuidoostelijke richting naar de Dadaab regio en de grens met Somalië. De begrenzing van de aquifer en isohypsen zijn weergegeven in afbeelding 3.



**Afbeelding 3:** Begrenzing Merti aquifer, grondwaterkwaliteit, stijghoogte en geologie (breuklijnen op basis van Bosworth en Morley 1994)

## Grondwateraanvulling

Kennis over de grondwateraanvulling vormt de sleutel tot management van deze aquifer. Overexploitatie kan immers leiden tot ongewenste verlagingen van de stijghoogten, waardoor putten onbruikbaar worden. Daarnaast bestaat de kans op verslechtering van de grondwaterkwaliteit door het aantrekken van zout grondwater vanuit de perifere gebieden van de aquifer en/of van grotere diepte, waarover thans onvoldoende inzicht bestaat.

Directe grondwateraanvulling door regenwater vindt slechts plaats bij aanhoudende en hevige regenval, wat in dit gebied zelden en slechts lokaal voorkomt. Verdere beperkingen worden gevormd door transpiratie van vegetatie die na regenperiodes herstelt en geringe infiltratie als gevolg van korstvorming in overstromingsvlakten en moerassige gebieden. Indirecte grondwateraanvulling vanuit (seizoenale) rivieren speelt mogelijk wel een rol. Het kwantificeren van de aanvulling vanuit rivieren wordt echter bemoeilijkt door de onzekerheid over de verspreiding van slecht doorlatende lagen die de Merti aquifer en de rivieren in veel plaatsen scheiden. Een andere onzekere factor is het effect van breuken met een grote verticale doorlatendheid die potentieel kunnen zorgen voor plaatselijke grondwateraanvulling. De rol van breuken is voor de hand liggend, gezien de geologische geschiedenis van het gebied, en de veelal grote verticale doorlatendheid van breuken in sedimenten (Bense en Person, 2006). De rol van breuken wordt ondersteund door op Landsat beelden zichtbare lineamenten die samenhangen met veranderingen in stromingspatronen. Voorts speelt aanvulling vanuit nabijgelegen aquifers mogelijk een belangrijke rol, zoals het permeabele lava-plateau van Mt. Marsabit, dat relatief veel neerslag ontvangt.

Hoewel in het verleden diverse concepten voor grondwateraanvulling zijn voorgesteld en getoetst (aan de hand van waterbalansberekeningen, hydrochemie, stabiele isotopen-onderzoek, Tritium, C-14), bestaat tot op heden grote onzekerheid over de processen van- en hoeveelheid grondwateraanvulling. De meest waarschijnlijke concepten zijn aanvulling via het vulkanische Marsabit plateau (inter-aquiferstroming) en infiltratie van oppervlaktewater vanuit de bedding van de seizoenale Lagh Dera. Daarnaast speelt aanvulling vanuit de rivier Ewaso Ng'iro een (beperkte) rol. De volgende inschattingen zijn gemaakt in eerdere studies over grondwateraanvulling (GIBB 2004):

- Ewaso Ng'iro rivier: 0,9 miljoen m<sup>3</sup>/jaar
- Mt. Marsabit plateau: 2,4 miljoen m<sup>3</sup>/jaar
- Lagh Dera bedding: 1,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar

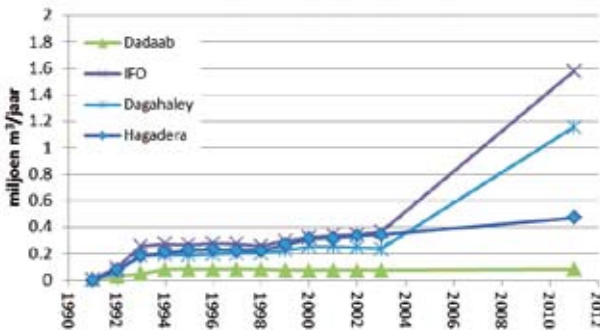
Op basis van deze gegevens is de totale influx in de aquifer 4,5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar (dit komt neer op een totale aanvulling van slechts 0,3 mm per jaar over het centrale deel van de aquifer). Diverse onderzoeken hanteren echter de theorie dat de grondwateraanvulling veel groter is (of in het verleden was) dan deze cijfers suggereren. In het onderzoek van GIBB (2004) wordt een grondwateraanvulling van 33 miljoen m<sup>3</sup> (circa 2 mm) per recharge event berekend, gebaseerd op enkele (conservatieve) aannamen over horizontale stroming door de aquifer en een mengverhouding gebaseerd op gemeten verschillen in EC-waarden langs de stroombanen. Deze waarden ondersteunen een in voorgaand onderzoek (Swarzenski en Mundorff, 1977) gehanteerde

hypothese van aanvulling tijdens grootschalige overstromingen (bijvoorbeeld tijdens het El Niño -event van 1997/1998). Dit illustreert de grote onzekerheid van de hoeveelheid van- en de processen die leiden tot grondwateraanvulling in het gebied.

Gegeven het belang van grondwateraanvulling voor uitspraken over duurzame onttrekking van grondwater, is aanvullend onderzoek nodig om de verschillende concepten voor grondwateraanvulling te toetsen en de daadwerkelijke aanvulling nader te kwantificeren.

### Grondwateronttrekking

Grondwateronttrekking vormt een belangrijke waterbalanscomponent in dit gebied. Op basis van monitoringsgegevens in de vluchtelingenkampen wordt het onttrekkingsdebiet geschat op circa 3,2 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Het totale onttrekkingsdebiet in het gehele gebied bedraagt 4,7 miljoen m<sup>3</sup> per jaar (mogelijk gelijk aan de huidige grondwateraanvulling). Verwacht wordt dat het gebruik van grondwater in de komende jaren verder zal toenemen, met een geschat gebruik van 10 tot 23 miljoen m<sup>3</sup> per jaar in 2035 (EW, 2011), met mogelijk ernstige gevolgen voor de beschikbaarheid van zoet grondwater in de toekomst.



Afbeelding 4: Onttrekkingsdebieten vluchtelingenkampen

### Grondwatermodel

UNHCR wil dat op basis van een numeriek grondwatermodel van het gebied gefundeerde besluiten genomen worden over duurzame ontwikkeling en exploitatie van het grondwatersysteem. Uitvoorgaande paragrafen blijkt echter reeds dat aanvullend onderzoek noodzakelijk is naar met name grondwateraanvulling en de dikte van de aquifer. Daarnaast ontbreken gegevens over het voorkomen van zout grondwater op grotere diepte. Zonder deze informatie zijn realistische modelberekeningen en uitspraken met betrekking tot duurzame ontwikkeling van de aquifer niet mogelijk.

Het opstellen van een model is echter wel een goede optie om verschillende hypothesen en concepten voor grondwateraanvulling te toetsen en de gevoeligheid van verschillende parameters die het grondwatersysteem beschrijven te bepalen. Hierbij wordt in

eerste instantie uitgegaan van een grondwatermodel dat de processen verantwoordelijk voor grondwateraanvulling (zoals onverzadigde zone -processen en de interactie tussen oppervlaktewater en grondwater) niet expliciet beschrijft. Uit isotopenonderzoek blijkt dat grondwateraanvulling ter plaatse van het Marsabit plateau verloopt via preferente stroombanen in de basalten (Sklash en Mwangi). De grondwateraanvulling kan hier het best worden bepaald (en gemodelleerd) aan de hand van metingen in de verzadigde zone. Uit stijghoogteverschillen en verschillen in grondwaterkwaliteit kan worden afgeleid dat de invloed van aanvulling vanuit de enige permanente rivier in het studiegebied (de Ewaso Ng'iro) beperkt is. De rivier stroomt in een gecompartmentaliseerd deel van de aquifer. Daarom kan een investering in nader onderzoek beter elders kan worden ingezet en de grondwateraanvulling hier als geschatte waarde kan worden gehanteerd. Verwacht wordt dat aanvulling vanuit de Lagh Dera (de seizoensrivier in het centrale deel van de aquifer) deels via grootschalige breuken verloopt. De Lagh Dera speelt een belangrijke rol in grondwateraanvulling. Onderzoek naar onverzadigde zone processen en preferente stroming is hier een zinvolle investering. In dit stadium van het onderzoek is het impliciet modelleren van de grondwateraanvulling echter zinvoller; hiermee kan onderzoek worden gedaan naar mogelijke locaties van belangrijke *recharge zones*. Daarnaast kan het relatieve belang van de verschillende zone voor de centrale aquifer en de puttenvelden in de vluchtelingenkampen worden getoetst (gevoeligheidsanalyse).

Het model dient dan ook als basis om een zinvol onderzoeksprogramma voor te stellen. De huidige studie en het ontwikkelen van het grondwatermodel (planning: najaar 2011) dienen daarnaast als eerste aanzet voor het ontwikkelen van een centraal document, van waaruit vervolgonderzoek kan worden ingezet en teruggekoppeld. Hiermee wordt vermeden dat (onbedoeld) verschillende randvoorwaarden en uitgangspunten worden gehanteerd, informatie verloren gaat en dubbel werk wordt verricht. Nieuwe gegevens en nieuwe inzichten naar aanleiding van aanvullende onderzoeken kunnen op deze wijze ook gemakkelijk worden getoetst.

### **Monitoring van kwaliteit, onttrekkingen en stijghoogte**

De grootste onttrekkingen vinden plaats in de Dadaab regio. Hier worden sinds de oprichting van de vluchtelingenkampen stijghoogten, debieten en grondwaterkwaliteit gemonitord. In 2011 zijn daarnaast herhalingsmetingen verricht aan grondwaterkwaliteit ter actualisatie.

Uit de gegevens blijkt dat de onttrekkingsdebieten, als gevolg van de influx van vluchtelingen sinds 2003 met 200% zijn toegenomen. De stijghoogte in en rondom de kampen is met maximaal circa 1,5 m gedaald in de meetperiode. Het tijdelijk verlagen van de onttrekkingsdebieten leidt tot een (gedeeltelijk) herstel van de stijghoogten. Tijdens El Niño (effect van hoge neerslag) in 1997/1998 zijn de stijghoogten licht toegenomen, wat een belangrijke aanwijzing vormt voor actuele grondwateraanvulling. De gemeten (beperkte) stijghoogteveranderingen hangt onder andere af van het doorlaatvermogen en de totale grondwateraanvulling, waarover onvoldoende gegevens voorhanden zijn. Indien de onttrekkingsdebieten beduidend lager zijn dan de totale grondwateraanvulling en het doorlaatvermogen voldoende groot is voor een goed contact tussen de puttenvelden en de *recharge*-zones, zijn de gemeten veranderingen



relatief klein en zal een nieuwe evenwichtssituatie ontstaan. Indien er echter sprake is van een fragiel evenwicht tussen de huidige onttrekkingen en grondwateraanvulling, zullen de gemeten verlagingen verder doorzetten en op termijn onder andere leiden tot verslechtering van de grondwaterkwaliteit.

De EC-waarde is een belangrijke en gemakkelijk te meten indicator voor de grondwaterkwaliteit. Deze varieert in het centrale deel van de aquifer van 1000 tot 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Buiten het centrale deel worden waarden tot 20.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  waargenomen. De EC-waarden in de Dadaab regio zijn over het algemeen relatief laag en de kwaliteit van het grondwater wordt in deze regio (bij gebrek aan alternatieve watervoorzieningen) als voldoende beschouwd voor drinkwaterdoeleinden. Gedurende de meetperiode wordt een lichte stijging van EC-waarden waargenomen. Dit duidt mogelijk op het aantrekken van zout grondwater van diepere of nabijgelegen delen van de aquifer. Er bestaat echter twijfel over de kwaliteit van de metingen vanwege onnauwkeurige apparatuur en/of metingen en inconsistente meetmethodiek, waardoor de beperkte veranderingen binnen de foutenmarge vallen.

## Conclusies

Op basis van monitoringsgegevens van de afgelopen twintig jaar met betrekking tot grondwaterkwaliteit en –kwantiteit kunnen geen eenduidige conclusies worden getrokken over het effect van grondwateronttrekking op het grondwatersysteem. Het belang van de waargenomen stijghoogteverlagingen van maximaal 1,5 m hangt af van de gevoeligheid van de aquifer voor dergelijke veranderingen. Dit hangt onder andere af van het doorlaatvermogen van de aquifer en de totale grondwateraanvulling, waarover onvoldoende gegevens voorhanden zijn. Over de waargenomen lichte stijging van EC-waarden in de Dadaab regio valt, gezien de beperkte kwaliteit van de metingen, geen eenduidige conclusie te trekken met betrekking tot het aantrekken van zouter grondwater.

Gezien de verwachte sterke toename van onttrekkingen kan niet worden uitgesloten dat in de toekomst snelle veranderingen kunnen optreden in het grondwatersysteem, wat kan leiden tot het droogvallen van putten of het aantrekken van zout grondwater van grotere diepte of vanuit de periferie van de aquifer. Voordat een uitspraak gedaan kan worden over duurzame ontwikkeling en exploitatie van de Merti Aquifer moet er nog veel werk worden verzet. Het bepalen van de grondwateraanvulling voor dit gebied is essentieel. Veel conclusies over duurzame grondwateronttrekking worden nu gebaseerd op resultaten van rudimentaire en onvolledige bepalingen. Daarnaast zijn meer gegevens nodig over de dikte van de aquifer en het voorkomen van zout grondwater op grotere diepte.

Beleidsmatig is er de wens om aan de hand van dit onderzoek te komen tot een aquifer-managementmodel, waarbij een numeriek grondwatermodel inzichten moet geven om tot gefundeerde keuzes te komen met betrekking tot de uitbreiding van drinkwaterwinning. De eerste stap voor een dergelijk aquifermanagement model is het uitvoeren van een gedegen (veld)onderzoek en uitbreiding en intensivering van de monitoring.



Om te komen tot een goede inschatting van grondwateraanvulling, is het van belang om de mogelijke recharge-routes en lokaliteiten die de recharge beïnvloeden, evenals waarschijnlijke stromingsmechanismen te identificeren (Simmers en De Vries, 2000). Het grondwatermodel dat in het najaar van 2011 wordt opgesteld dient in de eerste plaats dan ook om de verschillende *recharge*-concepten en stromingsmechanismen te testen. Aan de hand hiervan zal een sterke set aanbevelingen worden opgesteld voor nader onderzoek. De onderzoeksresultaten van deze tweede fase worden in een later stadium gepubliceerd.

## Literatuur

**Bense, V. F., and M. A. Person (2006)** Faults as conduit-barrier systems to fluid flow in siliciclastic sedimentary aquifers; in: *Water Resources Research* 42 (W05421)

**Bense, V. (2002)** Hydrogeologische karakterisering van breukzones in Zuidoost-Nederland; in: *Stromingen* 8 (3), pag 17-30

**Bosworth, W. and Morley, C.K. (1994)** Structural and stratigraphic evolution of the Anza rift, Kenya; in: *Tectonophysics*, 236 (1994) pag 93-115

**CARE (2001)** CARE's Response - DADAAB REFUGEE CAMPS - <http://www.care.org/emergency/Horn-of-Africa-food-poverty-crisis-Dadaab-2011>; geraadpleegd op 25 september 2011

**De Vries, J.J., Simmers, I. (2002)** Groundwater recharge: an overview of processes and challenges; in: *Hydrogeology Journal* (2002) 10, pag 5-17

**Earth Water Ltd. (2011)** Aquifer Study – Merti Aquifer; report WD/WRP/001/021

**GIBB (East Africa) (2004)** Study of the Merti Aquifer – Final Report; UNICEF Kenya Country Office, Nairobi

**Sklash, M.G. en Mwangi, M.P. (1991)** An isotopic study of groundwater supplies in the Eastern Province of Kenya; in: *Journal of Hydrology* 128 (1991) pag 257-275

**Swarczewski, W.V. and Mundorff, M.J. (1977)** Geohydrology of North Eastern Province, Kenya; in: *USGS Water Supply Paper* 1757-N

