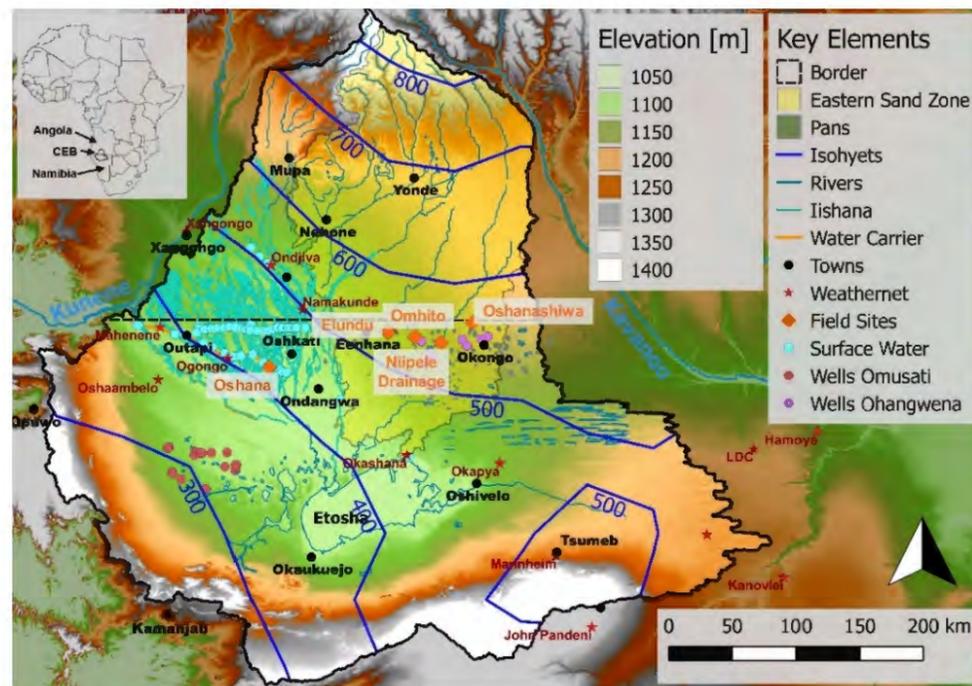


# Zusammenfassung der innerhalb SASSCAL untersuchten Landformen und Grundwasserneubildungsraten über die ungesättigte Zone im Norden Namibias



Innerhalb des SASSCAL Task 10 fanden zahlreiche Feld- und Laboruntersuchungen zur Abschätzung der Grundwasserneubildung statt. Während der Hauptfokus auf Methoden basierend auf stabilen Wasserisotopen lag, wurde auch eine Reihe etablierter Ansätze zur Validierung verwendet. In diesem Dokument sollen sämtliche Abschätzungen zusammengefasst werden. Insgesamt wurden sechs Methoden angewandt:

- 1) Die Chlorid-Massenbilanz-Methode (CMB; vgl. Huang et al., 2017; Scanlon, 1991)
- 2) Die Peak-Versatz Methode (Beyer et al., 2015; Saxena, 1984)
- 3) Eine empirische Methode basierend auf der Auswertung tiefer Isotopenprofile (Allison et al., 1983; Gaj et al., 2016)
- 4) Modellierung des Wassertransportes in der ungesättigten Zone nach Anpassung von Bodenfeuchtedaten (Adomako et al., 2010; Šimůnek et al., 2016)
- 5) Die Auswertung von Wasserspiegel-Fluktuationen (Butler et al., 2007)
- 6) Großskalige Approximation der mittleren jährlichen Speicheränderung unter Nutzung von Fernerkundungsdaten (GRACE; Longuevergne et al., 2013; Rodell et al., 2007)



Höhenmodell, Gewässer, Konturlinien des mittleren Jahresniederschlages und Untersuchungsstandorte innerhalb des Cuvelai-Etosa Basin (CEB). Gelb hervorgehoben ist die Eastern Sand Zone.

In der unten angeführten Tabelle sind alle Abschätzungen für die Landformen, an denen Untersuchungen stattfanden zusammen gefasst.

Landform	Site	Neubildungspfad	Neubildungsrate [mm y <sup>-1</sup> ]
Tiefe Sande, bewachsen	Elundu Forest	direkt	* <sup>1</sup> langj.Mittel: 9-20 mm y <sup>-1</sup> * <sup>3</sup> Mittel: 1-24 mm y <sup>-1</sup> * <sup>4</sup> langj.Mittel: 13 mm y <sup>-1</sup> * <sup>2</sup> 2013/14: 29 mm y <sup>-1</sup> , 2014/15: 0 mm y <sup>-1</sup> , 2015/16: 4 mm y <sup>-1</sup> * <sup>2</sup> Mittel: 11 mm y <sup>-1</sup>
Tiefe Sande, bewachsen	Omhito	direkt	* <sup>1</sup> langj.Mittel: 17-25 mm y <sup>-1</sup> * <sup>4</sup> langj.Mittel: 1 mm y <sup>-1</sup>
Tiefe Sande, unbewachsen	Elundu Forest	direkt	* <sup>1</sup> langj.Mittel: 9-14 mm y <sup>-1</sup> * <sup>4</sup> langj.Mittel: 77 mm y <sup>-1</sup>
Oshana/lishana	Oshakati	indirekt	* <sup>1</sup> langj.Mittel: 0 mm y <sup>-1</sup> * <sup>2</sup> 2013/14: 0 mm y <sup>-1</sup> * <sup>2</sup> 2014/15: 0 mm y <sup>-1</sup>
Deflationspfannen	Elundu Pan	indirekt	* <sup>1</sup> langj.Mittel: 3-4 mm y <sup>-1</sup>
Ephemäre Flussbetten	Niipele Drainage	direkt / indirekt	* <sup>1</sup> langj.Mittel: 20-56 mm y <sup>-1</sup> * <sup>5</sup> 2016/17: 39.3 mm y <sup>-1</sup>
Mittlere jährliche Speicheränderung über alle Aquifere	CEB	direkt / indirekt	* <sup>6</sup> langj.Mittel: 11 mm y <sup>-1</sup>

\*Methoden: <sup>1</sup>Chlorid Massenbilanz; <sup>2</sup>Peak-Shift Methode; <sup>3</sup>Isotopen-Tiefenprofile; <sup>4</sup>Modellierung HYDRUS1D, <sup>5</sup>Wasserspiegel-Fluktuation, <sup>6</sup>Großskalige Approximation mit Fernerkundungsdaten (GRACE)

Wie aus der Tabelle hervor geht, sind die im Rahmen von SASSCAL ermittelten Neubildungsraten und -pfade zwischen verschiedenen Landformen und innerhalb dieser sehr heterogen. Darüber hinaus liefern auch die verschiedenen Methoden unterschiedliche Größenordnungen, was eine enorme Unsicherheit der Neubildungsraten zur Folge hat. Folgende grundsätzliche Schlussfolgerungen können jedoch festgehalten werden:

- Die größte potentielle Grundwasserneubildung findet an unbewachsenen, tief sandigen Standorten statt (Ephemäre Flussbetten, Sanddünen, unbewachsene 'patches').
- Es findet sporadisch (z.B. durch günstige Charakteristiken der Regenzeit) Grundwasserneubildung an bewachsenen, sandigen Standorten statt.
- Neubildung über Deflationspfannen und lishana ist sehr gering bis nicht vorhanden.
- Trotz dieser Unsicherheit der Grundwasserneubildung bilden die hier zusammen gefassten Neubildungsraten die Grundlage für eine Regionalisierung basierend auf den unterschiedlichen Landformen.

# Charakterisierung der untersuchten Landformen



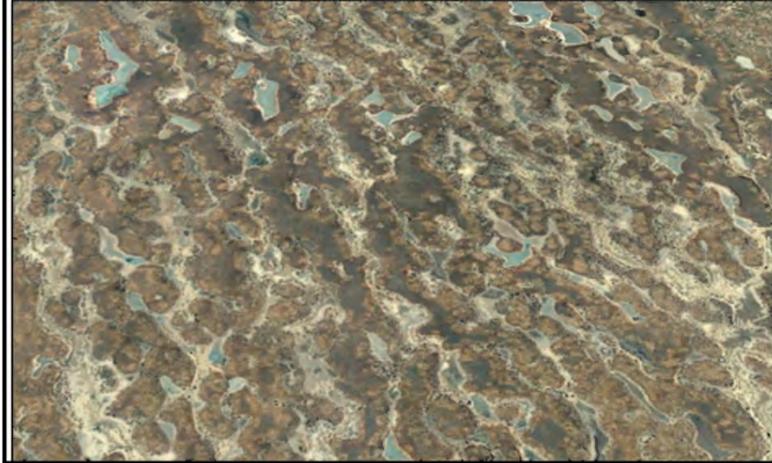
a) In der ‚Eastern Sand Zone‘ im Nordosten des CEB sind tiefe, rein sandige Kalahari-Sedimente typisch. Große Teile dieses Gebietes sind bewaldet und es gibt teilweise mächtige Bäume.



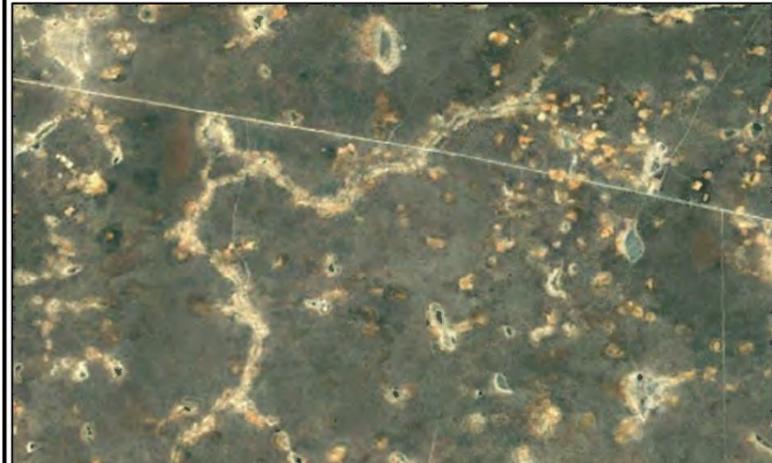
b) Im Osten der ‚Eastern Sand Zone‘ befinden sich ausgedehnte Dünenfelder die sich mit lokalen Absenkungen (Depressionen) abwechseln. Unter diesen befindet sich häufig eine bis zu 20m mächtige Kalkschicht.



c) Im Bereich des ehemaligen Delta des Kavango ist eine Vielzahl von Deflationspfannen zu finden. An deren Leeseite sind oft die fruchtbarsten Böden, da sich dort die Ablagerungszone befindet.



d) *lishana* sind charakteristisch für das zentrale CEB. Bei ausreichendem Niederschlag füllen diese sich mit Flut- und Regenwasser und bilden ein verbundenes Fließsystem, das bis zur Etosha-Pfanne reichen kann.



d) Ephemäre Flussbetten sind im gesamten Bereich des Verlaufs des ehemaligen Kavangos zu finden. Vermutlich sind die Flussbetten ganzjährig wasser führend; jedoch ist dieses nur während der Regenzeit oberirdisch sichtbar.

- Adomako, D., Maloszewski, P., Stumpp, C., Osaе, S., Akiti, T.T., 2010. Estimating groundwater recharge from water isotope ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) depth profiles in the Densu River basin, Ghana. *Hydrol. Sci. J.* 55, 1405–1416. doi:10.1080/02626667.2010.527847
- Allison, G.B., Barnes, C.J., Hughes, M.W., 1983. The distribution of deuterium and  $^{18}\text{O}$  in dry soils 2. Experimental. *J. Hydrol.* 64, 377–397.
- Beyer, M., Gaj, M., Hamutoko, J.T., Koeniger, P., Wanke, H., Himmelsbach, T., 2015. Estimation of groundwater recharge via deuterium labelling in the semi-arid Cuvelai-Etосha Basin, Namibia. *Isotopes Environ. Health Stud.* 51. doi:10.1080/10256016.2015.1076407
- Butler, J.J., Kluitenberg, G.J., Whittemore, D.O., Loheide, S.P., Jin, W., Billinger, M.A., Zhan, X., 2007. A field investigation of phreatophyte-induced fluctuations in the water table. *Water Resour. Res.* 43, n/a-n/a. doi:10.1029/2005WR004627
- Gaj, M., Beyer, M., Koeniger, P., Wanke, H., Hamutoko, J., Himmelsbach, T., 2016. In situ unsaturated zone water stable isotope ( $^2\text{H}$  and  $^{18}\text{O}$ ) measurements in semi-arid environments: a soil water balance. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20, 715–731. doi:10.5194/hess-20-715-2016
- Huang, T., Pang, Z., Liu, J., Yin, L., Edmunds, W.M., 2017. Groundwater recharge in an arid grassland as indicated by soil chloride profile and multiple tracers. *Hydrol. Process.* doi:10.1002/hyp.11089
- Longuevergne, L., Wilson, C.R., Scanlon, B.R., Crétauх, J.F., 2013. GRACE water storage estimates for the Middle East and other regions with significant reservoir and lake storage. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 4817–4830. doi:10.5194/hess-17-4817-2013
- Rodell, M., Chen, J.L., Kato, H., Famiglietti, J.S., Nigro, J., Wilson, C.R., 2007. Estimating groundwater storage changes in the Mississippi River basin (USA) using GRACE. *Hydrogeol. J.* 15, 159–166. doi:10.1007/s10040-006-0103-7
- Saxena, R.K., 1984. Estimation of groundwater recharge and moisture movement in sandy formations by tracing natural oxygen-18 and injected tritium profiles in the unsaturated zone. *Nord. Hydrol.* 235–242.
- Scanlon, B.R., 1991. Evaluation of moisture flux from chloride data in desert soils. *J. Hydrol.* 128, 137–156. doi:10.1016/0022-1694(91)90135-5
- Šimůnek, J., van Genuchten, M.T., Šejna, M., 2016. Recent Developments and Applications of the HYDRUS Computer Software Packages. *Vadose Zo. J.* 15, 0. doi:10.2136/vzj2016.04.0033