

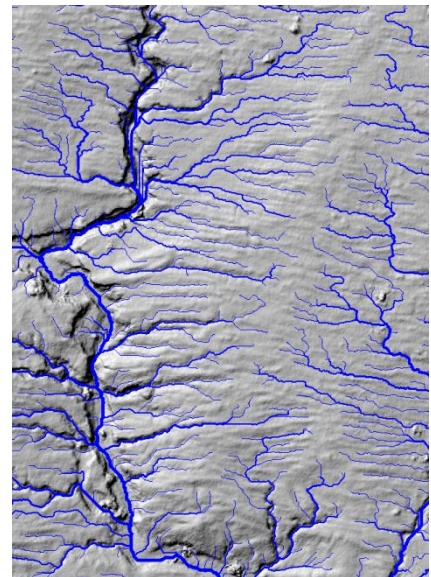
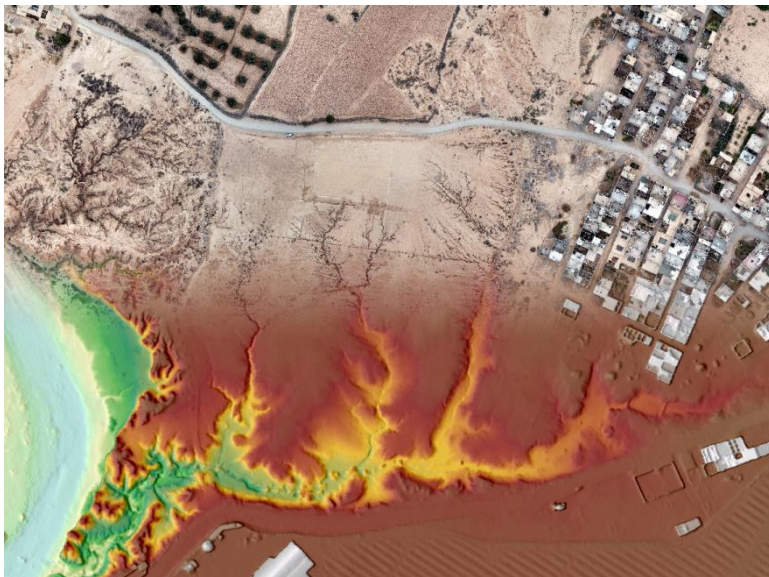
Abschlussbericht

Gully-Erosion in agro-industriell genutzten Landschaften zwischen Hohem und Anti-Atlas (AGASouss – DFG-Projekt RI835/5-1 bzw. MA2549/3-1)

Planierungsarbeiten mit Baumaschine am Ufer des Oued Oaar



Testfläche HOU im UAV-Luftbildmosaik (oben) bzw. DGM (unten)



Gully- und Rinnensysteme auf HOU (GIS-Analyse des DGM)

Prof. Dr. Johannes B. Ries
Physische Geographie, Universität Trier

AOR Dr. Irene Marzolff
Institut für Physische Geographie, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

Prof. Dr. Ali Aït Hssaine
Département de Géographie, Université Ibn Zohr, Agadir (Marokko)

März 2016

1. Allgemeine Angaben

DFG-Geschäftszeichen	RI835/5-1 bzw. MA2549/3-1
Antragsteller	<p>Johannes B. Ries, Prof. Dr. rer. nat. Physische Geographie Fachbereich VI Geographie/Geowissenschaften, Universität Trier D-54286 Trier Tel.: 0651-201-4511/12, Fax: 0651-201-3976 e-mail: riesj@uni-trier.de</p> <p>Irene Marzolff, Dr. rer. nat. Institut für Physische Geographie Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main Altenhöferallee 1 D-60438 Frankfurt am Main Tel.: 069-798-40173, Fax: 069-798-40170 e-mail: marzolff@em.uni-frankfurt.de</p> <p>Ali Ait Hssaïne, Prof. Dr. Département de Géographie Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Université Ibn Zohr BP 29 / S, Agadir, Marokko Tel.: +212-048-220558, Fax: +212-048-221620 e-mail: aithsaine@yahoo.fr</p>
Thema/Name des Projekts	Gully-Erosion in agro-industriell genutzten Landschaften zwischen Hohem und Anti-Atlas (<i>Assessment of gully erosion in agro-industrial landscapes of the Souss Basin (Morocco)</i>)/ AGASouss
Förderungs- und Berichtszeitraum	Förderungszeitraum: 1.2.2010 - 31.8.2014 (Laufzeit kostenneutral verlängert) Berichtszeitraum: 1.2.2010 – 31.12.2015

Publikationen aus diesem Projekt

a) Peer-reviewed Publikationen

d'Oleire-Oltmanns, S., Eisank, C., Dragut, L. & Blascke, T. (2013): An Object-Based Workflow to Extract Landforms at Multiple Scales From Two Distinct Data Types. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2013, 10, 947–951.

d'Oleire-Oltmanns, S., Marzolff, I., Peter, K. D., & Ries, J. B. (2012a): Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sensing* 4: 3390-3416. DOI:10.3390/rs4113390.

d'Oleire-Oltmanns, S., Marzolff, I., Tiede, D., & Blaschke, T. (2014): Detection of gully-affected areas by applying object-based image analysis (OBIA) in the region of Taroudannt, Morocco. *Remote Sensing* 6(9): 8287-8309. DOI:10.3390/rs6098287.

Kaiser, A., Neugirg, F., Rock, G., Müller, C., Haas, F., Ries, J. B. & Schmidt, J. (2014): Small-scale surface reconstruction and volume calculation of soil erosion in complex Moroccan gully morphology using Structure from Motion. *Remote Sensing* 6(8): 7050–7080. DOI: 10.3390/rs6087050.

Peter, K.D. & Ries, J.B. (2013). Infiltration rates affected by land levelling measures in the Souss valley, South Morocco. *Zeitschrift für Geomorphologie Suppl. Issues* 57 (1), 59–72. DOI: 10.1127/0372-8854/2012/S-00124.

Peter, K. D., Giudici, C., Schneider, R., Ries, J.B. & Ait Hssaïne, A. (2016 in prep.). Soil crusting as a trigger for runoff generation and soil erosion in the Souss valley, Morocco. (Vorgesehen für *Geoderma*)

Peter, K. D., d'Oleire-Oltmanns, S., Ries, J. B., Marzolff, I. & Ait Hssaïne, A. (2014): Soil erosion in gully catchments affected by land-levelling measures in the Souss Basin, Morocco, analysed by rainfall simulation and UAV remote sensing data. *Catena* 113: 24-20. DOI: 10.1016/j.catena.2013.09.004.

b) Andere Veröffentlichungen

Ait Hssaïne, A., Ghafrani, H., Peter, K. D., d'Oleire-Oltmanns, S., Ries, J. B. & Marzolff, I. (2013): Morphostructural context of gullies in Taroudant, Morocco. Geophysical Research Abstracts (EGU 2013 Conference Proceedings) 15: 8255.

d'Oleire-Oltmanns, S. & Tiede, D. (2014): Specific target objects – specific scale levels? Application of the estimation of scale parameter 2 (ESP2) tool for the identification of scale levels for distinct target objects. South Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics 25 (3): 579-584.

d'Oleire-Oltmanns, S., Eisank, C., Drägut, L., Schrott, L. Marzolff, I. & Blaschke, T. (2012b): Object-based landform mapping at multiple scales from digital elevation models (DEMs) and aerial photographs. - In: Proceedings of the 4th GEOBIA, May 7-9, 2012, Rio de Janeiro, Brazil: 496-500.

Kaiser, A., Peter, K.D., Brings, C., Iserloh, T., Seeger, M., Ghafrani, H., d'Oleire-Oltmanns, S., Marzolff, I., Ait Hssaïne, A. & Ries, J.B. (2014): Gully erosion and land degradation in the Souss Basin, southern Morocco - application of airborne and terrestrial imagery and SfM procedures. Geophysical Research Abstracts (EGU 2014 Conference Proceedings) 16: 8525.

Marzolff, I., Ries, J. B. & d'Oleire-Oltmanns, S., Peter, K. D., Ait Hssaïne, A. (2013): Controlling or boosting gully erosion? The impact of land levelling in the Souss Basin, Morocco, analysed by UAV-based remote sensing and rainfall simulations. 6th International Symposium on Gully Erosion in a Changing World, 06-12 May 2013, Iasi, Romania Book of abstracts: 19.

Marzolff, I., Pani, P., Mohapatra, S., Ghafrani, H. & Ait Hssaïne, A. (2015): Sustainability of land reclamation measures in erosional badlands: A comparative perspective on semi-arid landscapes of South Morocco and Central India. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-9825.

Peter, K. D., Ries, J. B., Marzolff, I. & d'Oleire-Oltmanns, S. (2012): Soil Erosion in agro-industrially used landscapes between High and Anti-Atlas. Geophysical Research Abstracts (EGU 2012 Conference Proceedings) 14: 8142.

Peter, K. D., d'Oleire-Oltmanns, S., Ries, J. B., Marzolff, I. & Ait Hssaïne, A. (2013): Impact of land-levelling measures on gully and soil erosion analysed by rainfall simulation and UAV remote sensing data in the Souss Basin, Morocco. Geophysical Research Abstracts (EGU 2013 Conference Proceedings) 15: 8521.

2. Arbeits- und Ergebnisbericht

2.1 Ausgangsfragen und Zielsetzung des Projekts

Gully-Erosion und rasche Badland-Bildung bedrohen die Anbauflächen in dem von starker Landnutzungsveränderung und hoher Bevölkerungsdynamik geprägten Souss-Becken zwischen Hohem Atlas und Anti-Atlas. Die starke räumliche Verflechtung von geomorphodynamisch hochaktiven Gullys mit hochgradig technisierten, durch *land levelling*-Maßnahmen gewonnenen Bewässerungsflächen für Obstplantagen, vorrangig Agrumen, und Gewächshausanbau für Gemüse und Bananen stellt für die Nutzung der agro-industriellen Flächen und für die Siedlungsbewohner im Badland-Randbereich ein hohes und aktuell wachsendes Gefährdungspotential dar. Daraus ergaben sich die folgenden Ausgangsfragen des Projektes:

- Unter welcher Prozessdynamik und wie schnell entwickeln sich Gullys in planierten Flächen im Vergleich zu Gullys auf traditionell genutztem, unplaniertem Gelände?
- Wie stark ist der Einfluss eines zugeschütteten Gully-Systems auf die Entwicklung der neuen Gully-Muster?
- Welche Flächen sind besonders gefährdet?

Ziel des deutsch-marokkanischen Forschungsprojektes war die Erstellung und Verifizierung eines konzeptionellen Modells zur Gully-Erosionsgefährdung. Dafür sollten Daten zur aktuellen Gully-Erosion, zur Prozessdynamik in den Gully-Einzugsgebieten (EZG) und deren Nutzungscharakteristika zusammengeführt werden, die mittels experimentellen Feldversuchen, Feldkartierungen sowie UAV- und Satellitenbildfernerkundung auf drei verschiedenen Maßstabsebenen erhoben wurden (punkthaft standörtlich, Testfläche/Gully-EZG, Untersuchungsgebiet insgesamt). Die Identifizierung von Gebieten mit hoher Gully-Erosionsdichte und -risiko sowie die Abschätzung der Prozessdynamik, welche im Einzugsgebiet Gully-Bildung begünstigt, war dabei das Hauptanliegen.

Die einzelnen Ziele des Projektes gliederten sich in inhaltliche, auf das Problemfeld der Gully-Erosion konzentrierte Ziele einerseits und methodische, im Bereich der messtechnischen Methodenentwicklung bzw. -weiterentwicklung liegende Ziele andererseits.

2.2 Entwicklung der durchgeführten Arbeiten einschließlich Abweichungen vom ursprünglichen Konzept, ggf. wissenschaftliche Fehlschläge, Probleme in der Projektorganisation oder technischen Durchführung

Die Arbeiten wurden weitgehend wie beantragt durchgeführt, mit Ausnahme der zeitlichen Durchführung: Das Projekt lief kostenneutral 2 Jahre länger als vorgesehen. Der Wechsel bei den Mitarbeitern der Physischen Geographie an der Universität Trier (S. Muhs/D. Peter) und die längere Qualifikationsphase des marokkanischen Dissertanten, der erst seine Master-Arbeit abschließen musste, sorgten für Probleme in der Startphase. Dies sind auch die Gründe für die lange Nachlaufphase.

Außer der zeitlichen Streckung gab es nur eine wesentliche Konzeptabweichung (s. u.) und keine wissenschaftlichen Fehlschläge. Die Probleme in der Projektorganisation und bei der technischen Durchführung beschränkten sich auf das bei derartigen Geländearbeiten Übliche. Fehlschläge gab es im methodischen Bereich: Der Einsatz des vom Gutachter hervorgehobenen Sandtracer-Verfahrens (Vanwallegem et al. 2005) erwies sich als nicht zielführend. Die aufwändig eingefärbten Sande, welche sorgsam in den oberen Abschnitten auf unterschiedlichen Niveaus auf den Gully-Böden eingebracht worden waren, wurden bereits beim ersten Starkniederschlagsereignis im November 2010 gänzlich ausgeräumt bzw. zugeschüttet. Daraus kann geschlossen werden, dass solche Ereignisse das gesamte Gully-Bett erfassen, ausräumen, tieferschalten bzw. soviel Erosionsgut transportieren und ablagern, dass eine systematische Analyse der einzelnen Erosionsprozesse nicht möglich ist.

Die im Antrag noch vorgesehene vollständige Erfassung des gesamten Untersuchungsgebietes wurde aufgrund der unter Kap. 2.3 im Einzelnen dargelegten Untersuchungsergebnisse verworfen: Anstatt des erwarteten Einflusses von Landbedeckung (Vegetationsbedeckung), Steinbedeckung und Hangneigung erklärt einzig die Verschlammung und Krustenbedeckung die Oberflächenabflussbildung und den Sedimenttransport als die entscheidenden Voraussetzungen für die Gully-Bildung. In die gleiche Richtung weisen die Ergebnisse einer Masterarbeit zur Wadi-Dynamik unterhalb der Gullys (Kirchhoff 2014). Auch hier zeigt sich in überzeugender Weise, dass der eingangs des Projektes angestrebte Multikriterienansatz nicht zielführend ist, weil die fluvialen Systeme – hierzu zählen Gullys und Wadis – durch Oberflächenabfluss der Flächen generiert, sich dann weitestgehend selbststeuernd in Abhängigkeit von fluvialer Einschneidung, Sedimenttransport und -ablagerung weiterentwickeln, ohne erkennbaren Zusammenhang mit der Landbedeckung im Einzugsgebiet.

Die ursprünglich im Antrag vorgesehenen ergänzenden experimentellen Arbeiten zur Winderosionsgefährdung auf remobilisierten „älteren“ Dünen im westlichen Souss-Becken mussten nach dem Weggang des dafür vorgesehenen Bearbeiters Dr. Wolfgang Fister zu Prof. Dr. N. Kuhn an die Universität Basel aufgegeben werden. Für die inhaltliche Zielsetzung des Projektes erwies es sich als nicht problematisch, da diese Flächen nicht agro-industriell genutzt werden. Zwischenzeitlich ist vom Antragsteller Ries ein methodisch ausgerichteter Antrag zur Interaktion von Wind- und Regentropfen-erosion (Splash, Splash-Saltation, Splash-Drift) erfolgreich bei der DFG eingeworben worden (Ri-835/15). Hierbei werden auch sandige Substrate, die denen im Souss vergleichbar sind, untersucht.

Der marokkanische Antragsteller Prof. Dr. Ali Äit Hssaïne und der marokkanische Doktorand Hassan Ghafrani waren vorrangig in die experimentellen geomorphologischen Arbeiten der Arbeitsgruppe Ries/Peter eingebunden. Entgegen der ursprünglichen Planung konnte beim marokkanischen Partner noch keine Dissertation abgeschlossen werden. Die Promotion des Dissertanten Hassan Ghafrani ist verzögert worden durch Beförderung des Kandidaten in seiner derzeitigen Arbeitsstelle in der Regionalverwaltung von Taroudant, welche er nicht zuletzt seiner Qualifizierung durch die im Rahmen des Projektes angefertigte Master-Arbeit verdankt. Die erhöhte Verantwortung hat es ihm in den letzten Monaten leider nicht möglich gemacht, seine Arbeitszeit ausreichend zu reduzieren, um die Dissertation zügig abzuschließen. Erste Veröffentlichungen sind in Vorbereitung bzw. in Begutachtung. Hierzu zählen die mit deutschen Diplomandinnen erarbeitete Studien zum Umweltbewusstsein von Frauen im Untersuchungsgebiet und Auswirkungen der Bewässerungswirtschaft im Testgebiet Hamar. Wir hoffen sehr auf ein zügiges Vorankommen und den Abschluss der kumulativen Dissertationsschrift in den kommenden zwei Jahren.

2.3 Darstellung der erreichten Ergebnisse und Diskussion im Hinblick auf den relevanten Forschungsstand, mögliche Anwendungsperspektiven und denkbare Folgeuntersuchungen

(Autorennamen in **fett und kursiv** nehmen Bezug auf die im Projekt entstandenen Publikationen, die unter 1.a) und b) gelistet sind; zitierte Abschlussarbeiten finden sich in Abschnitt 2.6)

In mehreren Geländekampagnen im Souss-Becken wurden auf sieben von Gully-Erosion betroffenen Testflächen in der Region Taroudant experimentelle Feldversuche durchgeführt (u. a. 122 Niederschlagssimulationen und 43 Infiltrationsversuche), Feldkartierungen vorgenommen sowie ca. 20.000 Luftbildaufnahmen mit einem UAV (*unmanned aerial vehicle*) aufgenommen. Die Testgebiete sind nach umliegenden Siedlungen benannt: La Glacha (GLA), El Houmer (HOU), Gchechda (GCH), Talaa (TAL), Lastah (LAS), Hamar (HAM) sowie ein Testgebiet zwischen Lastah und Hamar (LAM). Sie liegen entlang des Transektes von Südwest nach Nordost auf demselben Schwemmfächer, der nach dem Wadi Oued Irguitène benannt ist (Abb. 1). In jedem Testgebiet ist ein Gully-System ausgeprägt. Diese Gullys liegen jeweils in enger Nachbarschaft zu Ackerland, Zitrusfrucht-, Bananen- oder Gemüseplantagen sowie Siedlungsland (**Peter et al., 2014**). Die Gully-Systeme sind teils kürzere lineare bis dendritische, manchmal Badland-artig ausgeprägte *bank gullies* orthogonal zu den Vorfluter-Wadis, teils langgezogene lineare Einschnitte in Hauptgefällsrichtung des Schwemmfächers. Die Testflächen GLA und HOU wurden mehrfach planiert; auch Teile der Testfläche LAM und gegen Ende des Projektes die Testfläche HAM wurden planiert.

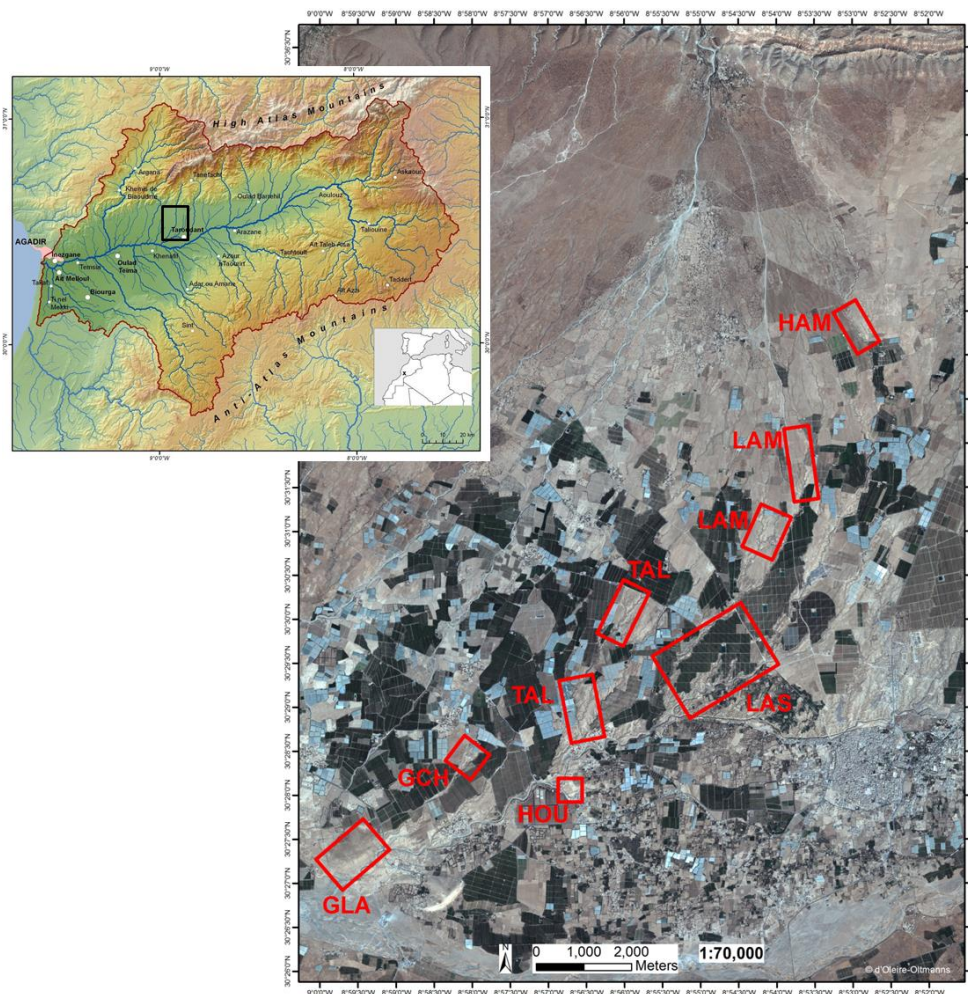


Abb. 1: Links: Souss-Einzugsgebiet (Kartengrundlage: USGS HydroSHEDS); rechts: Testgebiete (rote Rechtecke) im Untersuchungsgebiet auf dem Schwemmfächer des Oued Irguitène. Das Flussbett des Oued Souss verläuft am südlichen Ende des Untersuchungsgebietes; die Stadt Taroudant liegt im Bildausschnitt unten rechts (Quickbird-Satellitenbild 26.10.2009) (**Peter et al., 2014**, verändert nach **d'Oleire-Oltmanns et al. 2012**).

2.3.1 Rahmenbedingungen für die Gully-Erosion im Untersuchungsgebiet

Die lehmigen, quartären Schwemmfächer und alluvialen Terrassen in der Region Taroudant sind seit mehr als 400 Jahren von starker Gully-Bildung betroffen (Dijon, 1969). Die lineare Einschneidung der Schwemmfächer, besonders im distalen Bereich, wurde vornehmlich durch den Niedergang des Zuckerrohranbaus und die nahezu völlige Degradierung der Arganwälder Ende des 17. Jahrhunderts ausgelöst (Ait Hssaïne, 1994; 2002). Die resultierenden Badlands, Wadis und Gullys sind noch heute tief zwischen den agro-industriellen Anbauflächen eingeschnitten. Der Schwemmfächer ist grundsätzlich durch einheitliche geomorphologische Bedingungen gekennzeichnet, die nur durch die fluvialen Ab- und Umlagerungsprozesse von Nord nach Süd variieren. Dies lässt sich an der Textur der Böden mit leichter Abnahme der Korngrößen und des Skelettanteils von proximaler zu distaler Lage erkennen. Durch die hohe Geomorphodynamik und das trockene, heiße Klima findet heute kaum Pedogenese statt. Bei den Böden handelt es sich um Rohböden, die durch die fluviale Dynamik oft umgelagert werden und einen geringen Humusgehalt besitzen. Sie werden zumeist aus Schluffen und Sanden aufgebaut, vor allem in nördlichen Bereichen findet sich ein hoher Skelettanteil (**Peter et al., 2014**). Besonders die Substratfolgen aus feinkörnigen Sanden, Schluffen und geringen Tonanteilen stellen durch ihre heterogene Zusammensetzung und inkohärentes Gefüge eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung der Badlands dar.

Es herrschen deutliche Unterschiede in den Nutzungsstrategien: geplante Flächen, regelmäßig gepflügte Felder, Weideland, junge Brachen, die noch landwirtschaftlich genutzt werden, oder ältere Brachen, die bereits mehrere Jahre nicht genutzt wurden. Die Intensivierung und Ausweitung der Landwirtschaft ist, häufiger als bei der Antragstellung vermutet, mit *land-levelling*-Maßnahmen verbunden, durch welche aufgelassene Badlands großflächig umgeformt werden. Diese Planierungsmaßnahmen werden nahezu ausschließlich mit schweren Maschinen aus dem Straßenbau durchgeführt (vgl. Titelphoto oben). Sie betreffen zumeist Flächen, die für besonders hochwertige Nutzung vorgesehen sind (Agrumenplantagen, bewässerter Gemüseanbau, Gewächshausüberbauung). Rinnen, Wadis und Gullys werden mit Material, das in der unmittelbaren Umgebung abgeschoben wird, von oben her verfüllt und zugeschoben, es wird dabei kein großer Wert auf Bodenkonsolidierung und Stabilisation gelegt. Die neu rekonstruierten Flächen weisen häufig steile Hänge über der lokalen Erosionsbasis auf (Abb. 2); Erosionsschutzmaßnahmen sind häufig nicht vorhanden oder inadequat (siehe auch Masterarbeit Ghafrani 2012).

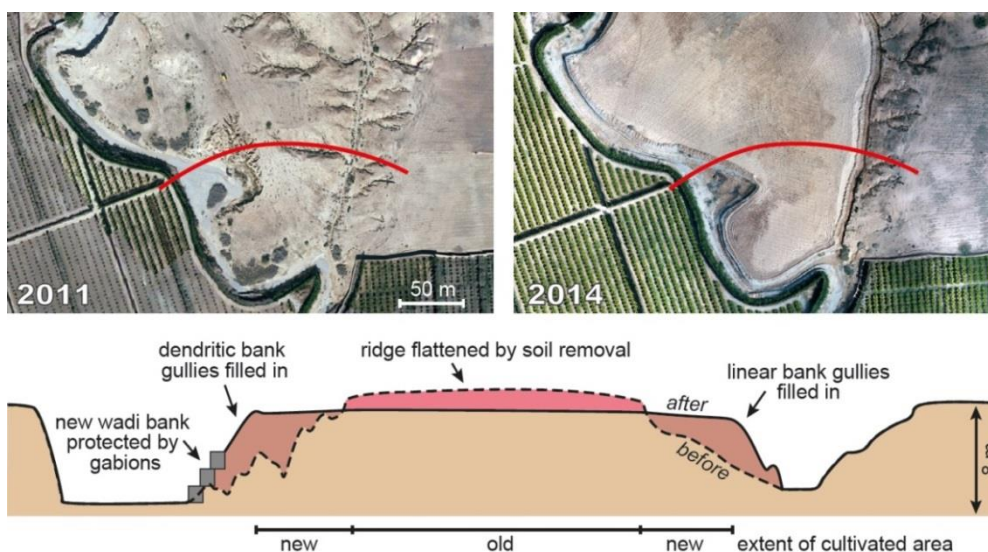


Abb. 2: Planierung eines durch Gully-Erosion zerschnittenen Riedels zwischen zwei Wadis, Testgebiet HAM. Die Gully-Systeme werden mit abgeschobenem Material von oben her aufgefüllt und der ehemalige Rand des Ackers als Steilhang rekonstruiert. Entlang des westlichen, tiefer eingeschnittenen Wadis wurden zum Schutz der Fläche gegen fluviale Erosion Gabionen errichtet, das Wadi selbst und die Prallhangbereiche dadurch jedoch verengt. (**Marzolff et al. 2015**)

2.3.2 Prozessdynamik in den Gully-Einzugsgebieten

2.3.2.1 Einfluss der Bodenkrusten

Als zentrales Ergebnis des Projektes kann festgehalten werden: Bodenkrusten haben den größten Einfluss auf Infiltration, Oberflächenabflussbildung und Abtragsprozesse (*Peter et al., 2014; Peter et al., 2016 in prep.*) (Abb.3). Die meisten Flächen der Testgebiete sind mit Bodenkrusten bedeckt. Dabei handelt es sich vor allem auf planierten, frisch präparierten sowie kürzlich kultivierten und nun brachliegenden Feldern um physikalische Bodenkrusten (Abb. 4, rechts). Auf etwas älteren Brachen und Weideland breiten sich biogene Krusten aus (Abb. 4, links) (*Peter et al., 2016 in prep.*). Bei den physikalischen Krusten kann durch makroskopische Beobachtungen auf zwei Entwicklungsprozesse geschlossen werden. Vereinzelt liegen Regenschlagkrusten vor, zumeist handelt es sich aber um Sedimentationskrusten. Ihre Mächtigkeit liegt überwiegend nur im Millimeter-Bereich; dennoch sind diese Krusten durch die Verschlammung der Oberfläche häufig sehr dicht. Krusten mit Plattenstruktur, die auf häufige Belastung mit schwerem Gerät hinweisen, und Vesikeln werden zumeist in den planierten Testgebieten gefunden. Hier werden die höchsten Oberflächenabflüsse gemessen (*Peter et al., 2014*). Einzelkorn- und Aggregatstruktur sowie biogene Krusten werden zumeist auf älteren Brachen registriert. Durch aufgebrochene Krustenoberflächen und vertikale konnektive Poren kann zu Beginn des Niederschlags das Wasser gut infiltrieren. Erst im späteren Verlauf des Ereignisses kann ein gesteigerter Oberflächenabfluss festgestellt werden (*Peter et al., 2016 in prep.*).

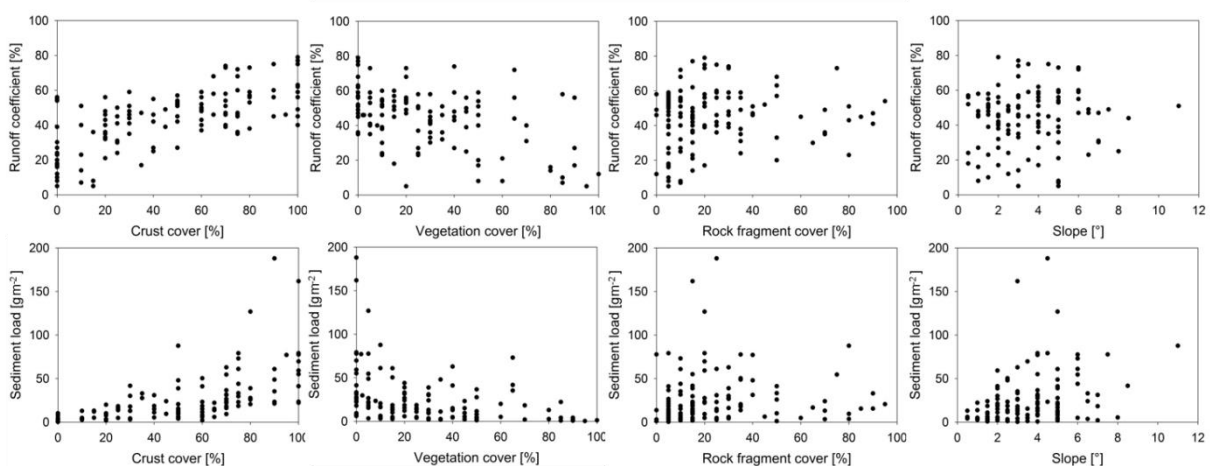


Abb. 3: Scatterplots der Einflussfaktoren Krusten, Vegetation, Steinbedeckung und Hangneigung auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in den Gully-Einzugsgebieten in allen Testgebieten.

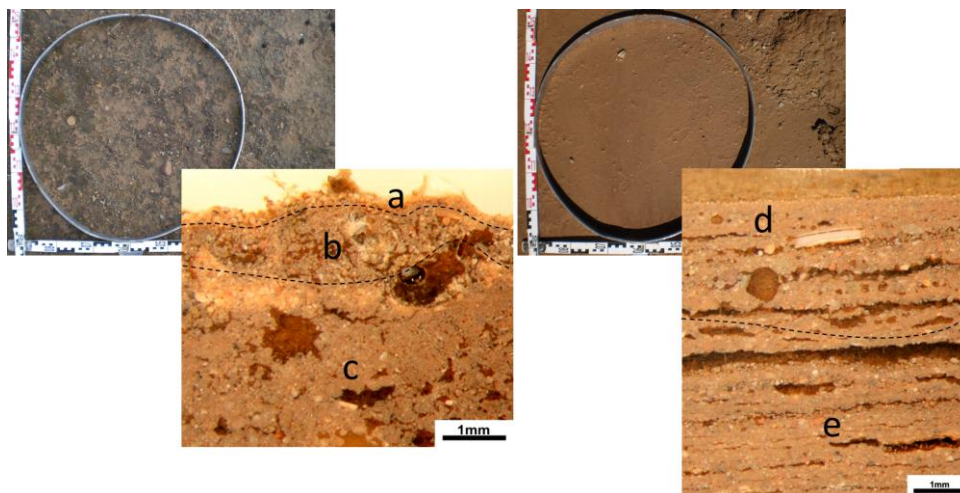


Abb. 4: Beispiele für biogene (links) und physikalische (rechts) Krusten mit ihrem jeweiligen Anschliff. a) biogene Kruste, b) Einzelkorn- und Aggregatstruktur, c) rauwandige Höhlungen, d) Vesikel und Plattenstruktur in Sedimentationskruste, e) Plattenstruktur (*Peter et al., 2014*).

Wenn Mikropilze, Flechten und Cyanobakterien durch vorherige Niederschläge aktiviert sind und eine geschlossene Kruste bilden, wirken sie stärker wasserabweisend und eine stärkere Oberflächenabflussbildung setzt ein. Der Sedimentabtrag fällt dagegen durch die aggregatstabilisierende Wirkung sehr gering aus (*Peter et al., 2014; Peter et al., 2016 in prep.*). Auf den unbedeckten, planierten Flächen können durch Splash-Erosion Sedimentpartikel abgelöst werden. Durch schnell ansteigenden Oberflächenabfluss verstärkt sich die abspülende Wirkung und ein hoher Sedimentabtrag kann gemessen werden.

2.3.2.2 Potentielle und naturnahe Infiltrationskapazität auf planierten und unplanierten Flächen

Ein zweites zentrales Ergebnis wurde bei der Ableitung von Infiltrationsraten aus Infiltrationsmessungen und solchen aus Niederschlagsmessungen erarbeitet (*Peter et al., 2014; Peter et al., 2016 in prep.; Peter & Ries, 2013*). Zur Ermittlung der Infiltrationsraten in den Testflächen wurden Einringinfiltrometerversuche und parallel Niederschlagsimulationen mit der Trierer Kleinberegnungsanlage (Iserloh et al., 2012) an den gleichen Standorten durchgeführt. Dabei kann mit dem Einringinfiltrometer mit Wasserüberstau die potentielle Infiltrationsrate gemessen werden. Bei den Niederschlagsimulationen wird hingegen die naturnahe Infiltrationsrate aus aufgebrachtem Niederschlag und gemessenem Oberflächenabfluss berechnet (*Peter & Ries, 2013*). Für beide Methoden ergibt sich eine niedrigere mittlere Infiltrationsrate auf Testflächen, die planiert wurden. Auf nicht-planierten Flächen erreichen die Infiltrationsraten bei Beregnungssimulationen mit 24 mm h^{-1} den 1,5-fachen, bei den Einringinfiltrometern mit 78 mm h^{-1} sogar den 2,6-fach höheren Wert (*Peter & Ries, 2013*). Dies hat zur Folge, dass bei Niederschlagsereignissen die Infiltrationskapazität des Bodens auf planierten Flächen schnell überschritten wird, wodurch die Bildung von Oberflächenabfluss früh einsetzt, was zu hohem Sedimentabtrag und zur Gully-Bildung führen kann (*Peter et al., 2014*). Die Ursache liegt in einer starken Bodenverkrustung sowie Kompaktion des Bodens durch die Planierungsmaßnahmen. An vielen Standorten kann in wenigen Zentimetern Tiefe ein Verdichtungshorizont lokalisiert werden, der ein Eindringen des Wassers in größere Bodentiefen verhindert. Die *land-levelling*-Maßnahmen fördern die weitflächig verbreiteten Schlämmkrusten, in die das Wasser nur unzureichend infiltrieren kann (*Peter et al., 2016 in prep.*). Für diesen Zusammenhang liegen deutliche Korrelationen vor (Abb. 5 aus *Peter & Ries, 2013*). Die mit den Einringinfiltrometern gemessenen Infiltrationsraten sind im Durchschnitt 3,8-mal höher.

Das Verhältnis der Infiltrationsrate gemessen mit dem Infiltrometer zur Infiltrationsrate gemessen durch Niederschlagsimulationen ist bei niedriger Infiltrationsrate, also vor allem auf den planierten Flächen, klein (*Peter & Ries, 2013*). Je höher die gemessene Infiltrationsrate, desto größer wird auch

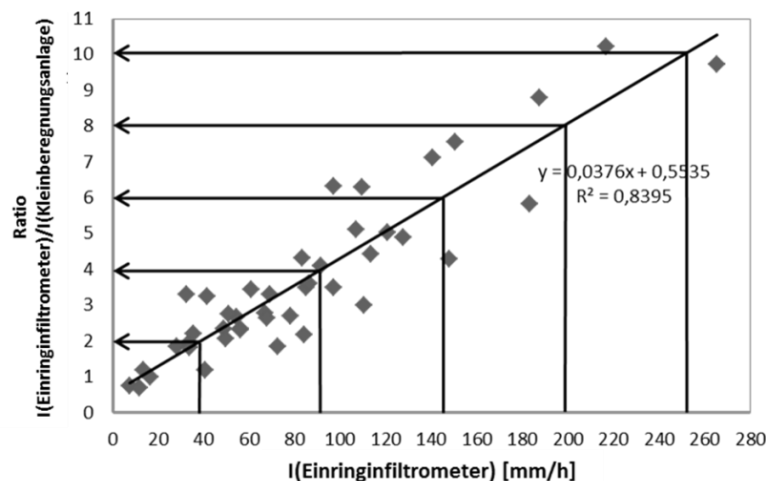


Abb. 5: Ratio Infiltrationsrate (Einringinfiltrometer)/Infiltrationsrate (Kleinberegnungsanlage) verglichen zu Infiltrationsrate (Einringinfiltrometer) mit Linien zur Ableitung möglicher Korrekturfaktoren (*Peter & Ries, 2013*).

das Verhältnis zwischen den Methoden. Dies lässt einen deutlichen Zusammenhang zwischen den Ergebnissen beider Methoden erkennen. So ergibt eine Korrelation zwischen dem Verhältnis beider Methoden zu den Einringinfiltrationsmessungen ein hohes Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,84$ (**Peter & Ries, 2013**).

2.3.2.3 Oberflächenabflussgenerierung als Voraussetzung für die Gully-Bildung

Die Ergebnisse der Niederschlagssimulationen weisen deutliche Unterschiede zwischen geplanten und nicht geplanten Testgebieten auf (Abb. 6). Das Maximum der Oberflächenabflusskoeffizienten erreicht auf den geplanten Testgebieten bis zu 79 %, wohingegen das Minimum mit 5 % auf ungestörten Flächen quantifiziert wurde. Insgesamt sind die Abflusswerte in den nicht geplanten Flächen mit durchschnittlich 41,7 % bereits relativ hoch, in den geplanten Testgebieten steigt dieser Wert jedoch auf 56,8 % (**Peter et al., 2014**). Wesentlich größere Unterschiede werden für den Sedimentabtrag gemessen: Mit $59,2 \text{ g m}^{-2}$ ist der mittlere Sedimentabtrag auf geplanten Flächen 3,5 mal höher als auf nicht-planierten Flächen ($17,1 \text{ g m}^{-2}$) (**Peter et al., 2014; Peter & Ries, 2013**).

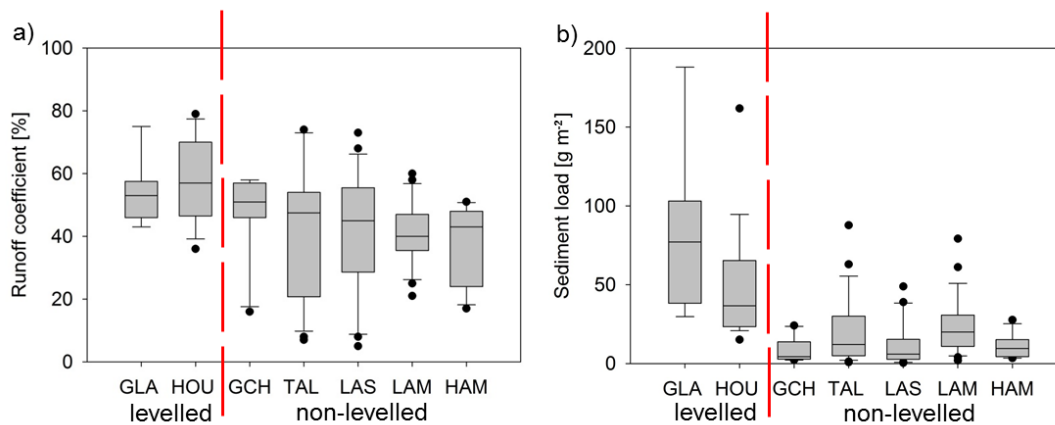


Abb. 6: Boxplots des (a) Oberflächenabflusses in [%] des aufgebracht Niederschlags und des (b) Sedimentabtrags in [g/m^2] auf den verschiedenen Gully-Einzugsgebieten (Peter et al., 2014).

Diese Heterogenität lässt sich durch die veränderten Oberflächen- und Bodenbedingungen nach Planierung erklären. So zeigen sich in den Testgebieten deutliche Differenzen besonders für Krusten- und Vegetationsbedeckung (**Peter et al., 2014; Peter et al., 2016 in prep.; Peter & Ries, 2013**). Auf Planierungsflächen werden wesentlich mehr Anteile an Verschlammungskrusten gefunden, oftmals mit 100-prozentiger Krustenbedeckung, wohingegen die Vegetationsbedeckung deutlich abnimmt, teils auf 0 % (**Peter et al., 2014**). Auch auf nicht-planierten Flächen finden sich verkrustete Bereiche; ihr Anteil liegt aber durchschnittlich nur bei 38 %, während für Vegetation eine mittlere Bedeckung von 31 % aufgenommen wird. Für die Krustenbedeckung werden in Zusammenhang mit Oberflächenabflussbildung und Sedimentabtrag statistisch signifikante Korrelationsergebnisse ($R^2 = 0,78$) gefunden. Für die Vegetationsbedeckung fällt die Korrelation etwas geringer aus ($R^2 = 0,48$) (**Peter et al., 2014**). Wie schon weiter oben beschrieben, handelt es sich bei Schlammkrusten um einen bedeutenden Einflussfaktor für die Oberflächenabflussgenerierung und damit die Gully-Dynamik (**Peter et al., 2016 in prep.**): Die Oberflächen der Planierungsgebiete werden durch Verschlammung während einzelner Niederschläge sehr stark versiegelt, sodass nahezu keine Infiltration möglich ist und ein Großteil des Niederschlagswassers oberflächlich abfließt (**Peter & Ries, 2013**). Eine weitere Korrelation kann zwischen der Korngrößenverteilung und dem Oberflächenabfluss aufgestellt werden. So liegt das Bestimmtheitsmaß einer Korrelation zwischen der Gruppe Grob- und Mittelsand mit dem Oberflächenabfluss bei $R^2 = 0,83$ (**Peter et al., 2014**). Dies weist auf die wichtige Bedeutung der Körnung hin. Je größer das Material nach Norden hin wird, desto mehr Porenvolumen ist vorhanden, wodurch mehr Wasser infiltrieren kann (**Peter & Ries, 2013**). Somit kann auf eine wesentlich höhere Prozessdynamik in den Gully-Einzugsgebieten der geplanten Flächen geschlossen werden. Hier setzt

die Oberflächenabflussbildung besonders schnell ein. Durch den hohen Sedimentabtrag kann eine hohe Erodibilität der Böden angezeigt werden. Bei linearer Konzentration des Abflusses kann es zu Gully-Entwicklung kommen (**Peter et al., 2014**).

2.3.3 Multiskalige Kartierung der Gully-Verbreitung und -Entwicklung

Zur Erreichung der unmittelbar auf die Gully-Entwicklung und -verbreitung bezogenen Projektziele wurden multiskalige Fernerkundungsdaten auf verschiedenen Maßstabsebenen analysiert: großmaßstäbige Luftbilder (1,5 – 10 cm Auflösung) aus eigenen Befliegungen mit einem UAV (Starrflügler-Drohne MAVinci Sirius) sowie hochauflösende Satellitenbilder (Quickbird 2; Auflösung 0,6 / 2,4 m). Die UAV-Bilder dienten dabei einerseits als hochauflösende stereoskopische Bilddaten für die dreidimensionale photogrammetrische Quantifizierung der Gully-Entwicklung (**d'Oleire-Oltmanns et al., 2012a, Peter et al., 2014**), andererseits als Grundlage für die entwickelten Klassifizierungsansätze mittels objekt-basierter Bildanalyse (**d'Oleire-Oltmanns et al., 2012b, 2013, 2014, d'Oleire-Oltmanns & Tiede, 2014**).

Zwischen September 2010 und März 2014 fanden insgesamt vier größere UAV-Befliegungs-Kampagnen statt, in denen Luftaufnahmen der Testgebiete gemacht wurden. Dabei wurde eine Datengrundlage von ca. 20.000 Luftbildern geschaffen. Zur Schließung der Datenlücke zwischen Feld- und Satellitendaten wurden die Befliegungen mit verschiedenen Flughöhen durchgeführt, so dass sowohl standörtliche Abdeckung der einzelnen Gully-Systeme mit extrem hoher Auflösung, als auch niedriger auflösende Übersichtsaufnahmen der Gully-Umgebung, soweit möglich des gesamten Gully-Einzugsgebiets, erreicht werden konnten. Die Befliegungskampagnen und die Bildverarbeitung konnten das große Potential des Autopilot-gesteuerten Flugzeuges für Kartierungen unterschiedlicher Skalen im Vergleich zu anderen unbemannten Fluggeräten deutlich herausarbeiten (**d'Oleire-Oltmanns et al., 2012a**). Für die Georeferenzierung der Aufnahmen und die Erstellung von digitalen Geländemodellen (DGMs) und Orthophotos wurden zwei verschiedene Ansätze entwickelt, die je nach Maßstabsebene und Abdeckungsfläche entweder auf geländevermessenen hochpräzisen Passpunkten oder auf den GPS-Daten der Äußeren Orientierung des UAVs basieren (**d'Oleire-Oltmanns et al., 2012a**).

2.3.3.1 Gully-Entwicklung auf planierten und unplanierten Flächen

Während der zweimonatigen Geländephase im Herbst 2010 wurde mit dem Luftbild-Monitoring fast aller Gully-Systeme in den Testgebieten (s. Abb. 1) begonnen. Der im weiteren Projektverlauf noch deutlich dynamischer als erwartet ablaufende Landnutzungswandel – Planierungen, Neuanlage von Gewächshäusern und Plantagen, Veränderung der Befliegbarkeit oder Zugänglichkeit durch neue Stromleitungen, veränderte Zugangsrechte – führte dazu, dass eine regelmäßige Wiederholungsaufnahme aller Gullys in jeder Geländekampagne weder sinnvoll noch möglich war. In Abhängigkeit der Entwicklung der Gullys, von denen einige teils wiederholt zugeschüttet und planiert wurden, liegen am Ende des Projektes jeweils 2-4 Monitoring-Aufnahmen vor. Informationen zur vorherigen und zwischenzeitlichen Entwicklungsgeschichte konnten über Satellitenbilder und Geländeaufnahmen (inkl. terrestrischer photogrammetrischer Aufnahmen) gewonnen werden.

Die folgenden Methoden kamen für die Quantifizierung der Gully-Entwicklung zum Einsatz (**d'Oleire-Oltmanns et al., 2012a; Kaiser et al., 2014; Peter et al., 2014** sowie Abschlussarbeiten Kaiser 2013, Kudian 2013, Onnen 2015), wobei teils deutliche methodische Fortschritte gegenüber bisherigen Workflows bei der Analyse und Visualisierung erzielt werden konnten:

- Stereophotogrammetrische Erstellung von digitalen Raster-Geländemodellen (2.5D) und polygonalen 3D-Modellen (*triangular meshes*) aus UAV-Luftbildern und terrestrischen Photos
- Berechnung des Ausgangs-Gully-Volumens durch Rekonstruktion eines „Deckels“ als potentielle ehemalige Geländeoberfläche und Differenzbildung
- Quantifizierung von Veränderungsraten durch Differenzbildung von Modellen unterschiedlicher Zeitpunkte
- Bestimmung von *headcut retreat*-Raten (R_{max}) aus georeferenzierten Luft- und Satellitenbildern

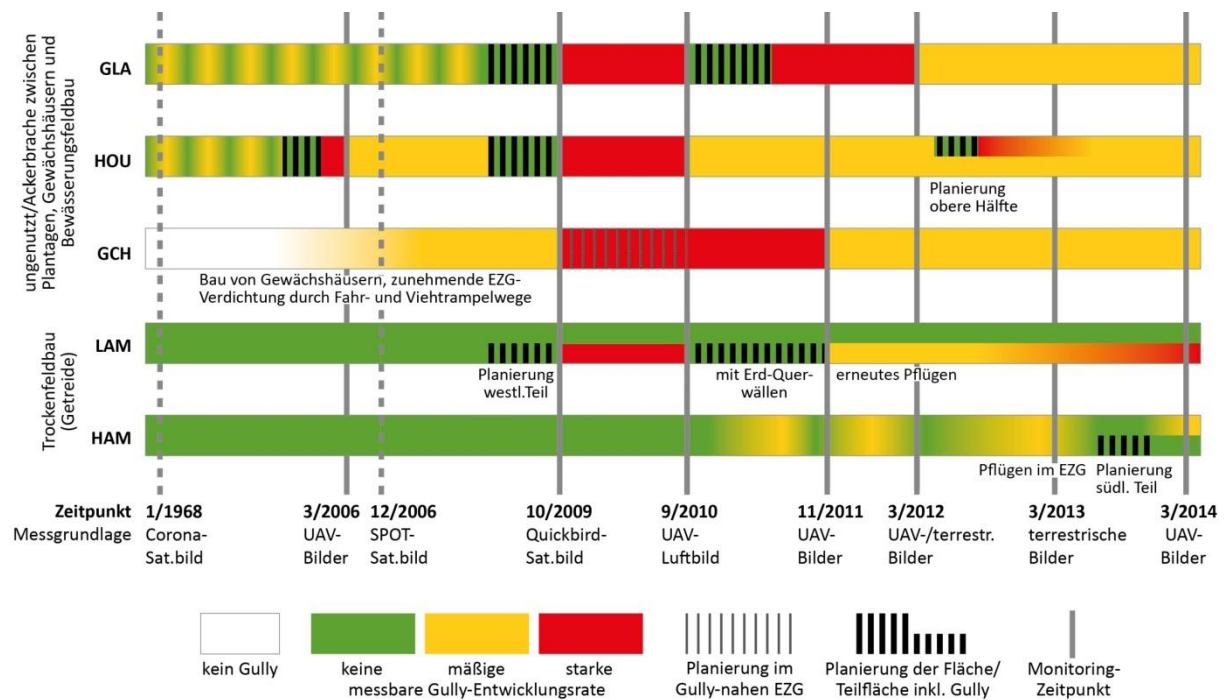


Abb. 7: Vergleichende durchschnittliche Gully-Entwicklung (relativ zu Größe des Gully-Systems) während der jeweiligen Zeitabschnitte zwischen 1968 und 2014 in den Testgebieten GLA, HOU, GCH, LAM und HAM. Nicht mit markierten Zeitpunkten begrenzte Abschnitte sind über Geländebegehungen oder Befragungen datiert. Schwache Gully-Entwicklung ist bei kleineren Systemen/Seitenarmen für 1/1968 und 12/2006 wegen nicht adäquater Satellitenbilddarstellung ggf. nicht erkennbar.

Einzelne herausragende Starkniederschlagsereignisse nahmen als physisch-geographischer Faktor während des Untersuchungszeitraums zwar eine wichtige Rolle im Erosionsgeschehen ein (*Peter et al., 2014*), dies aber besonders in Kombination mit dem anthropogenen Faktor Landnutzungswandel/Planierung, der die bei weitem größte Rolle bei der Steuerung der Gully-Entwicklung spielt. Abbildung 7 verdeutlicht dies an exemplarischen Entwicklungen von Gully-Systemen in den Testgebieten. Wegen der unterschiedlich langen Monitoring-Phasen, teilweise unscharfen Planierungszeitpunkten, unterschiedlichen Messgenauigkeiten und -dimensionen in UAV- und Satellitenbildern sowie sehr unterschiedlich großen Gully-Systemen und -EZGs wird in dieser Zusammenschau auf quantitative Angaben (siehe dazu in *d'Oleire-Oltmanns et al., 2012a; Kaiser et al., 2014; Peter et al., 2014* sowie Abschlussarbeiten Kaiser 2013, Kudian 2013, Onnen 2015) zugunsten eines qualitativ-ordinalen Vergleichs verzichtet.

Auffällig ist, dass „ungestörte“ Gully-Systeme in Angrenzungen an Trockenfeldbauflächen, wie sie im nördlichen Teil des UG vorherrschen, über lange Zeiträume keine bzw. sehr schwache (unter der Messgenauigkeit hochauflösender Satellitenbilder) Entwicklungsraten aufweisen (LAM, HAM), nach der Zuschüttung und Planierung aber in kurzer Zeit wieder aufreißen. So wurden am Standort LAM mehrere lineare, bis zu 1 km lange Gullys mit nur schmalen Saumen aus Seiten-*headcuts* nach der Planierung auf einer Länge von 700 m mit über 700 m³ Austrag reaktiviert; auf fast 200 m Länge erfolgte eine Einschneidung > 1 m. Benachbarte, nicht planierte Gullys blieben samt Seiten-*headcuts* im gleichen Zeitraum jedoch nahezu unverändert. Auch ohne Planierungsmaßnahmen kann bei langer Zeit weitestgehend stabilen Bank-Gullys das Pflügen in direkter Gully-Umgebung zur leichten Weiterentwicklung einzelner *headcuts* führen (HAM; $R_{\max} = 14\text{--}18 \text{ cm a}^{-1}$). Deutlich stärker noch ist der erosionsverstärkende Einfluss der Bearbeitung ungenutzter Badlands und Ackerbrachen zwischen Plantagen, Gewächshäusern und Bewässerungsfeldbau der südlicheren, agro-industriell geprägten Standorte im distalen Schwemmfächerbereich. Bei allen Gully-Systemen führte die Zuschüttung und Planierung zur unmittelbaren Wiedereinschneidung mit teils dramatisch hohen Austragsraten. Im Falle von GLA1 wurde durch Starkniederschlagsereignisse in wenigen Tagen 720 m³ (1080 t; $R_{\max} = 160 \text{ m}$) Verfüllungsmaterial aus einem zuplanierten Gully-System ausgetragen (*d'Oleire-Oltmanns et*

al., 2012a); dies entspricht einer Gully-Erosionsrate von $306 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ oder 2 cm Substratverlust im EZG. Im Vergleich dazu beträgt die extrapolierte Flächenerosion im EZG $16 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ oder 1 mm Substratverlust (**Peter et al., 2014**) – die durch die Abschiebung des Verfüllungsmaterials mechanisch erreichte Kappung des Oberbodens im Planierungsbereich aber $5,1 \text{ cm}$! Sehr hohe Erosionsraten resultieren auch ohne Planierung des Gullys aus ungünstigen Bedingungen im direkten Umfeld wie am Beispiel von GCH: Bis zu $160 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ ($R_{\text{max}} = 7,6 \text{ m a}^{-1}$) wurden hier im Anschluss an die Planierung einer am oberen Rand des EZG liegenden Badlandgebietes gemessen; die zunehmend starke Verdichtung der Gully-Umgebung durch Fahrwege und Viehtrampelpfade sowie vermutliche Niederschlagsabflüsse von Gewächshausdächern tragen hier bei zur teils durch flächenhaften *sheet flow* teils durch lineare Abflussbahnen gesteuerten Entwicklung einzelner *headcuts* (siehe auch **Kaiser et al., 2014**).

In allen Fällen planierter Gully-Systeme paust sich nach der Reaktivierung das alte Gully-System wieder deutlich, teils beinahe unverändert anmutend, wieder durch. Lediglich das Rillen- und Rinnennetzwerk auf planierten Flächen – also lineare Einschnidungen kleinerer Größenordnung als der Gully – sind davon ausgenommen: Hier konnte die steuernde Wirkung der Planierung auf das räumliche Abflussmuster und die lineare Einschnidung klar nachgewiesen werden. Vor allem an den durch besonders hohe Oberflächenabflussraten (vgl. Abb. 6) geprägten Standorten GLA und HOU entwickelten sich nach der Planierung parallel verlaufende, tief eingeschnittene steilwandige Rillen, Rinnen und Gully-Seitenarme, die nicht dem Meso-Relief des Geländes, sondern dem Mikro-Relief der Planierungsspuren folgen (**Peter et al., 2014**; Masterarbeit Steiner 2015) und zu einer deutlich verstärkten Verästelung des neu ausgebildeten Gully-Systems beitragen.

2.3.3.2 Entwicklung eines automatisierten Klassifizierungs- und Quantifizierungsverfahren für Gully-Flächen aus Satellitenbildern

Eine wesentliche Komponente der Methodenentwicklung innerhalb des Projektes und Schwerpunkt der kumulativen Dissertation von d'Oleire-Oltmanns (2014) war die Entwicklung eines Klassifikations-Ansatzes, der von Gully-Erosion betroffene Gebiete rein auf hochauflösenden optischen Satellitenbildern detektiert. Aufgrund der globalen Verfügbarkeit, der sehr hohen Pixelauflösung und der zeitlichen Auflösung – Eigenschaften, die bei hochauflösenden 3D-Geländemodellen nicht gegeben sind – sind solche Daten sehr gut für die Kartierung und das Monitoring von Gully-Entwicklung in größeren Gebieten geeignet. Die Herausforderung besteht jedoch in der automatisierten Detektion einer Landform, deren dreidimensionaler Charakter in zweidimensionalen optischen Bildern nicht direkt ersichtlich oder messbar ist, und deren spektrale Erscheinung sie nicht ausreichend von ihrer Umgebung differenziert. Damit kommen weder klassische pixelbasierte Spektralklassifikationsverfahren noch typische DGM-basierte geomorphographische Analysen in Frage. Benötigt wird entsprechend ein die visuelle Bildinterpretation nachbildendes Verfahren, das auf spektralen, Textur- und Form-Parametern beruht (**d'Oleire-Oltmanns et al., 2014**).

Das entwickelte Klassifizierungsverfahren basiert auf dem Konzept der objekt-basierten Bildanalyse (*object-based image analysis* OBIA), welche die Einbindung von Expertenwissen ermöglicht und dadurch (räumlichen) Kontext um das Zielobjekt herum schafft (Blaschke, 2010). Um Alleinstellungsmerkmale für die Formulierung eines (semi-)automatisierten Regelsatzes zur OBIA-Klassifikation von Gullys aus optischen Eingangsdaten zu identifizieren, wurde zuerst ein UAV-Luftbildmosaik einer Testfläche analysiert (**d'Oleire-Oltmanns et al., 2012b**). Durch die sehr hohe räumliche Auflösung der Luftbilddaten war es möglich, den Fokus des Ansatzes auf die exakte Abgrenzung der Gully-Kanten zu legen. Wegen der hohen spektralen Ähnlichkeit des Gullys mit seiner Umgebung wurde eine benutzerdefinierte Funktion in der Klassifikationssoftware entwickelt, welche die scharfe Grenze von sonnenerhellten Oberflächen und den steilen, schattigen Seitenwänden des Gullys erkennt (**d'Oleire-Oltmanns et al., 2013**). Die Validierung des Klassifikationsergebnisses erfolgte mittels manuell abgegrenzter Referenzdaten und ergab zufriedenstellende Ergebnisse.

Für die Übertragung des anhand einzelner Gully-Systeme entwickelten Ansatzes auf einen größeren räumlichen Kontext wurde die Detektion von Flächen, welche von Gully-Erosion betroffen sind, auf einem Quickbird 2-Satellitenbild durchgeführt (**d'Oleire-Oltmanns et al., 2014**). Dafür wurde ein

zentraler Ausschnitt des Untersuchungsgebietes analysiert, welcher die dort vertretenen verschiedenen Gully-Typen, sowie alle unterschiedlichen Haupttypen an Landbedeckung und Landnutzung beinhaltet und somit repräsentativ ist für das gesamte Untersuchungsgebiet. Das Verfahren wurde auf die Extraktion von Zielobjekten ausgerichtet, im Gegensatz zu einer flächigen Gesamt-Klassifikation des Satellitenbildes (*d'Oleire-Oltmanns et al., 2014*): Hauptziel war die Kartierung von Flächen, welche von Gully-Erosion betroffen sind, um eine Einschätzung der räumlichen Verteilung von potentiellen Gully-Standorten als auch deren Flächenanteile zu erhalten.

Der Klassifikationsansatz wurde zyklisch und hierarchisch aufgebaut. Die auf Basis von Luftbilddaten entwickelte benutzerdefinierte Funktion wurde mit Kantenfiltern und weiteren kontextbeschreibenden Klassifikationsregeln mit starkem Schwerpunkt auf Licht-/Schatten-Kontrasten kombiniert. Die für den OBIA-Segmentierungsprozess entscheidende Identifizierung eines geeigneten Maßstabswertes (engl. *scale parameter*) wurde erfolgreich unterstützt durch die umgekehrte Anwendung des statistischen Ansatzes des *Estimation of Scale Parameter (ESP) Tools* (*d'Oleire-Oltmanns & Tiede, 2014*). Dabei wurde insbesondere Wert gelegt auf die weitgehende Unabhängigkeit des entwickelten Klassifikationsansatzes von standortspezifischen Spektralwerten, um die Übertragbarkeit auf andere Untersuchungsgebiete oder -zeitpunkte zu ermöglichen (*d'Oleire-Oltmanns et al., 2014*).

Die zunächst konventionelle Validierung der Klassifikationsergebnisse – über den Vergleich mit visuell-interpretativen, manuell delinierten Referenzdaten für die von Gully-Erosion betroffenen Flächen des Testgebietes – ergab eine Gesamtgenauigkeit von 62%, mit einem *error of omission* (Unterklassifikation der Gully-Erosionsflächen) von 38% und einem *error of commission* (Überklassifikation) von 16% (*d'Oleire-Oltmanns et al., 2014*). Die Interpretation dieser Ergebnisse konnte grundsätzliche Schwierigkeiten von herkömmlichen Ansätze zur Genauigkeitsanalyse aufzeigen: Je nach morpholo-

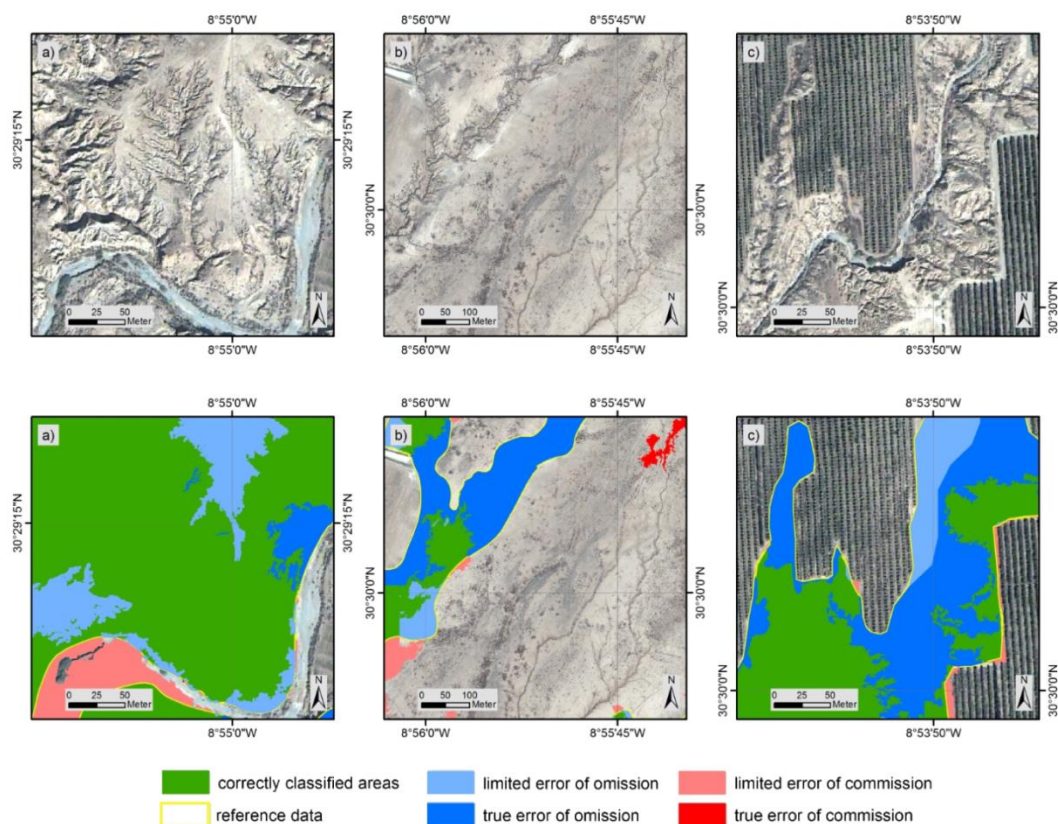


Abb. 8: Oben: Erscheinung verschiedener Typen von Gully-Erosionsflächen im Quickbird 2-Satellitenbild (26.10.2009; Ausschnitte). Von links nach rechts: Dendritische Systeme mit teils scharfen, teils abgerundeten Kanten und flachen Restflächen im Wasserscheidenbereich; linearer, schmaler Gully mit Saum aus Seitenarmen (sowie ephemere Rinnen); tief eingeschnittene, dendritische Badlands ohne Restflächen im Wasserscheidenbereich. Unten: OBIA-Klassifikationsergebnisse (Ausschnitte) im Vergleich mit manuell delinierten Referenzdaten; Fehlklassifikationen unterschieden in limitierte und echte *errors of omission and commission*. (*d'Oleire-Oltmanns et al., 2014*)

gischem Typ sind Gullys und Badlands eine Landform, deren Grenzen nicht eindeutig identifizierbar sind. Die sprachliche wie kartierungstechnische (sowohl manuelle als auch softwarebasierte) Abgrenzung erfolgt teilweise deutlich subjektiv, da klare Definitionen von Gully-Grenzen weiterhin unter Geomorphologen diskutiert werden (*d'Oleire-Oltmanns et al., 2013*). Unter Einbeziehung der entsprechenden, in *d'Oleire-Oltmanns et al. (2014)* identifizierten Unschärfen (*fuzzy accuracy assessment*) können die Klassifikationsfehler deutlich eingeschränkt werden (vgl. Abb. 8 unten für kritische Beispiele) – 23% des *error of omission* und sogar 98% des *error of commission* ließen sich als limitierte Fehler klassifizieren.

Die Eignung des entwickelten objekt-orientierten Ansatzes, der erstmals optische *very high resolution imagery* zur Klassifikation von Reliefformen anstelle von Geländemodellen verwendet, konnte für die großräumigen Kartierung von Gully-Erosionsflächen hiermit bestätigt werden. Folgeuntersuchungen zur Verbesserung des Ansatzes mit schärferer definitorischer Abgrenzung verschiedener Ausprägungen von Gully-Erosion sowie die Prüfung der Übertragbarkeit stehen aus und sind erstrebenswert.

2.3.4 Zusätzliche zitierte Literatur

Ait Hssaine, A. (1994): Géomorphologie et Quaternaire du piémont de Taroudant-Oulad Teima, vallée du Souss, Maroc. (Doctorat d'Etat, PhD) Université de Montréal, Montréal.

Ait Hssaine, A. (2002): Le cadre physique de la Dépression du Souss et la dégradation de l'environnement sédimentaire. In: Bouchelkha, M. (Ed.), L'espace rural dans le Souss: Héritage et changements. Méditerranée, Aix-en-Provence, pp. 22–27.

Blaschke, T. (2010): Object based image analysis for remote sensing. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 65, 2–16.

Dijon, R. (1969): Etude hydrogéologique et inventaire des ressources en eau de la vallée du Souss. Notes et Memoires du Service Géologique du Maroc, Rabat.

Iserloh, T., Fister, W., Seeger, M., Willger, H. & Ries, J.B. (2012): A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. Soil Till. Res. 124, 131–137.

Vanwalleghem, T., Bork, H.R., Poesen, J., Schmidtchen, G., Dotterweich, M., Nachtergaele, J., Bork, H., Deckers, J., Brüsche, B., Bungeers, J. & De Bie, M. (2005): Rapid development and infilling of a buried gully under cropland, central Belgium. Catena 63: 221–243.

2.4 Stellungnahme zur wirtschaftlichen Verwertbarkeit

Das vorgelegte Projekt ist als anwendungsbezogene Grundlagenforschung zu verstehen, die als solche nicht wirtschaftlich verwertbar ist. Die Ergebnisse belegen jedoch das durch die Planierungsmaßnahmen verstärkte Zerstörungspotential der Gullys, deren hohe Wachstumsraten und die großen aus den Gullys mobilisierten Sedimentmengen. Dies hat Konsequenzen für die Erosionsschutzkonzepte, die den Landnutzungswandel begleiten sollten. Dabei kommt der Reduktion von Oberflächenabfluss durch Krusten vermeidende bzw. aufbrechende Verfahren größte Bedeutung zu. Darüber hinaus muss die Ableitung hoher Oberflächenabflüsse direkt in die Wadis erfolgen.

2.5 Beitragende Kooperationspartner

Das Projekt hat zahlreichen wissenschaftlichen Mitarbeitern (extern finanziert), Postdoktoranden, Promotionsstipendiaten und studentischen Hilfskräften die Gelegenheit gegeben, ihre spezifischen, zumeist methodisch orientierten Fragestellungen innerhalb des Projektes voranzutreiben.

Studentische Hilfskräfte: Christiane Giudici, Andreas Kaiser, Mario Kirchhoff, Maya Nägele, Nils Onnen, Jennifer Schimpchen, Hannah Schmidt, Jonas Tumbrink, Tobias Wilms

Postdoktoranden: Dipl.-Geoökol. Dr. Manuel Seeger, Dipl.-Umweltwiss. Dr. Thomas Iserloh, Dipl.-Geogr. Dr. Stefan Wirtz, Dr. Lahoucine Chakir

Die gemeinsamen Forschungsinteressen mit Prof. Ait Hssaine und die Ergänzung der Methoden und Kenntnisse zu Bodendegradation und Gully-Erosion haben zwischenzeitlich zu einem weiteren

gemeinsamen Projektantrag für ein Kooperationsprojekt in der Souss-Ebene geführt (*Souss under Pressure* (RI 835/6-1 / MA-2549/4-1 et al.). Er wurde nicht bewilligt. Ein weiterer DFG-Antrag zur Geomorphodynamik unter Arganien-Beständen in der Souss-Umrahmung des Hohen und des Anti-Atlas steht kurz vor der Einreichung.

2.6 Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses im Zusammenhang mit dem Projekt

NachwuchswissenschaftlerInnen waren in allen Phasen des Projektes und in der Bearbeitung sämtlicher Forschungsfragen involviert. Im Rahmen des Projektes wurden bislang zwei Dissertationen und 14 studentische Abschlussarbeiten verfasst.

d'Oleire-Oltmanns, S. (2014): Gully mapping on multiple scales based on UAV and satellite data. Dissertation am Fachbereich 11 Geowissenschaften/Geographie der Goethe-Universität Frankfurt am Main, 120 S.

Ghafrani, H. (2012): Érosion hydrique et techniques de protection du sol dans les exploitations agro-industrielles aux abords de l'oued El Ouaar, piémont de Taroudant-Maroc. Mémoire de Fin d'études, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Ibn Zohr Agadir, 128 S.

Guidici, Ch. (2011): Die Funktion von Schlämmkrusten im Oberflächenabfluss-/ Bodenabtragsgeschehen in der Souss-Ebene/Südmarokko. - Diplomarbeit am Fachbereich VI – Physische Geographie der Universität Trier, 96 S.

Jukic, I. (2010): Veränderungsanalyse der agroindustriellen Landschaft zwischen 1973 und 2009 mittels Satellitenbildklassifikation in der Souss-Ebene (Marokko). Diplomarbeit am Institut für Physische Geographie der Goethe-Universität Frankfurt am Main, 73 S.

Kaiser, A. (2013): Neue Verfahren zur terrestrischen 3D-Modellierung: Die structure from motion-Methode in der Erosionsforschung - Untersuchungen aus Südmarokko und Hochandalusien. Diplomarbeit am Fachbereich VI – Physische Geographie der Universität Trier, 108 S.

Kirchhoff, M. (2014): Wadi-Dynamik in der Souss-Ebene, Südmarokko. Masterarbeit am Fachbereich VI – Physische Geographie der Universität Trier, 129 S.

Kluter, P. (2013): Fernerkundliche Identifizierung und Analyse der Landnutzungsänderung im Umland von Taroudant, Marokko. Bachelorarbeit am Institut für Physische Geographie der Goethe-Universität Frankfurt am Main, 57 S.

Kusdian, R. (2012): Photogrammetrische Auswertung hochauflösender Luftbilder zur Quantifizierung von Volumenänderungen am Beispiel ausgewählter Gullys in der Souss-Ebene (Südmarokko). Bachelorarbeit am Institut für Physische Geographie der Goethe-Universität Frankfurt am Main, 52 S.

Nägle, M. (2013): Bodenerosion und Steinversatz durch Ziegen und Schafe – experimentelle Feldversuche unter naturnahen Bedingungen in der Souss-Ebene (Marokko). Diplomarbeit am Fachbereich VI – Physische Geographie der Universität Trier, 88 S.

Onnen, N. (2015): Detaillierte kostengünstige 3D-Modelle von Gullys. Masterarbeit am Fachbereich VI – Physische Geographie der Universität Trier, 64 S.

Peter, K. D. (2014): Aktuelle Geomorphodynamik in Gullyeinzugsgebieten in der Souss-Ebene/Südmarokko. Dissertation am Fachbereich VI Raum- und Umweltwissenschaften der Universität Trier, 151 S.

Schimpchen, J., 2013. Piping – Dispergierungsanfälligkeit von Lockersubstraten in semiariden Regionen. Masterarbeit am Fachbereich VI – Physische Geographie der Universität Trier, 120 S.

Schmidt, H., 2013. Gully-Erosion in Südmarokko - Gefahreinschätzungen von Frauen. Wissenschaftliche Prüfungsarbeit für das Lehramt an Gymnasien am Fachbereich VI – Physische Geographie der Universität Trier, 71 S.

Steiner, F. (2015): „Hydrologic validation of a Structure-from-Motion DEM derived from low-altitude UAV imagery“. Masterarbeit am Institut für Physische Geographie der Goethe-Universität Frankfurt am Main, 55 S.

Tumbrink, J. (2012): Experimental Studies on Sheep Erosion: Distribution Patterns and Impact. Wissenschaftliche Prüfungsarbeit für das Lehramt an Gymnasien am Fachbereich VI – Physische Geographie der Universität Trier, 117 S.

Wilms, T. (2012). Experimental Studies on Sheep Erosion - Development of Methodology and Quantification. Wissenschaftliche Prüfungsarbeit für das Lehramt an Gymnasien am Fachbereich VI – Physische Geographie der Universität Trier, 110 S.

3. Zusammenfassung

Das deutsch-marokkanische Forschungsprojekt AGASouss untersuchte von 2010-2014 die aktuelle Gully-Erosionsgefährdung in agro-industriell genutzten Landschaften zwischen Hohem und Anti-Atlas. Dafür wurden experimentelle Daten zur aktuellen Geomorphodynamik und großmaßstäbige Fernerkundungsdaten mit UAV auf verschiedenen Maßstabsebenen erhoben und zusammengeführt. Gebiete mit hoher Gully-Erosionsdichte und -risiko konnten identifiziert und die Prozessdynamik, welche im Einzugsgebiet Gully-Bildung begünstigt, quantifiziert werden.

Deutlicher als erwartet zeigen die Ergebnisse, dass Gullys in agro-industriell genutzten Flächen besonders dynamisch auf planierten Feldern entstehen und wachsen. Sie stellen eine ernste Bedrohung für die nachhaltige Nutzung der hochwertigen Agrumen- und Gemüseanbauflächen dar. Hierbei sind die Prozesse der Verschlammung und Verkrustung gegenüber den sonst häufig beobachteten Faktoren Hangneigung und Landbedeckung die dominierenden Schlüsselfaktoren: Die spezifischen physikalischen Bodenkrusten, welche die planierten Flächen oft zu 100% bedecken, vermindern das Infiltrationsvermögen, generieren hohe Oberflächenabflüsse und führen so zu unerwartet hohen Gully-Wachstumsraten. Auf planierten Flächen sind Krusten mit Plattenstruktur und Vesikeln zu finden und wasserstauende Unterbodenhorizonte zu beobachten. Hier konnten Oberflächenabflusskoeffizienten bis zu 79 % gemessen werden. Krusten mit Einzelkorn- und Aggregatstrukturgefüge sowie biogene Krusten kommen auf älteren Brachflächen vor. Niederschlagswasser kann durch aufgebrochene Krustenoberflächen und Trockenrisse anfänglich gut infiltrieren, im späteren Verlauf des Ereignisses stellt sich jedoch ein gesteigerter Oberflächenabfluss ein. Insgesamt sind die Abflusswerte in nicht planierten Flächen mit durchschnittlich 41,7 % hoch, auf planierten Flächen steigt dieser Wert jedoch auf 56,8 %. Die Bodenabträge sind auf planierten Flächen sogar um das 3,5-fache höher.

Die Entwicklung der Gully-Systeme in den einzelnen Testgebieten wurde mittels eines UAV (*unmanned aerial vehicle*) fernerkundlich auf verschiedenen Maßstabsebenen dokumentiert. Die photogrammetrisch/GIS-technische Auswertung der großmaßstäbigen Luftbilder, ergänzt durch Satellitenbildauswertung und terrestrische photogrammetrische Aufnahmen, konnte bestätigen, dass Planierungsmaßnahmen die bei weitem größte Rolle für die Steuerung der Gully-Entwicklung spielen. Es zeigt sich, dass „ungestörte“ Gully-Systeme in Angrenzung an traditionelle Trockenfeldbauflächen über lange Zeiträume keine bzw. sehr schwache Entwicklungsraten aufweisen, nach der Zuschüttung und Planierung aber in kurzer Zeit wieder aufreißen. Deutlich stärker noch ist der erosionsverstärkende Einfluss der Planierungsmaßnahmen an den agro-industriell geprägten Standorten. Bei allen Gully-Systemen führt die Zuschüttung und Planierung zur unmittelbaren Wiedereinschneidung in das alte Gully-System mit teils dramatisch hohen Austragsraten. Bis zu $306 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, bezogen auf das Gully-Einzugsgebiet, konnten hier gemessen werden. Die Planierungsspuren selbst haben im Folgenden einen deutlich steuernden Einfluss auf das räumliche Abflussmuster und die lineare Einschneidung des Gully-nahen Rillen- und Rinnennetzwerks.

Für die großräumige Kartierung von Gully-Erosionsflächen auf der Überblicks-Maßstabsebene wurde ein objekt-orientiertes (OBIA-) Klassifikationsverfahren entwickelt, welches von Gully-Erosion betroffene Gebiete rein auf hochauflösenden optischen Satellitenbildern detektiert und somit eine Landformenkartierung auf Grundlage von 2D- anstelle der üblicheren, aber schlechter verfügbaren 3D-Daten vornimmt. Der auf der Basis von UAV-Bildern entwickelte und dann für den größeren Maßstab des Satellitenbildes adaptierte Regelsatz basiert auf Kantenfiltern und weiteren kontextbeschreibenden Klassifikationsregeln mit starkem Schwerpunkt auf Licht-/Schatten-Kontrasten. Die Ergebnisse konnten die grundsätzliche Eignung des entwickelten Ansatzes für die großräumigen Kartierung von Gully-Erosionsflächen bestätigen. Bei der Genauigkeitsanalyse wurde jedoch deutlich, dass eine schärfere definitorische Abgrenzung (sowohl sprachlich wie kartierungstechnisch) verschiedener Ausprägungen von Gully-Erosion die Voraussetzung für weitere Verbesserungen darstellt.

Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern: Für die Begrenzung des Gully-Wachstums gilt es zur Verkrustung neigende Planierungen zu vermeiden, Krusten kurzfristig durch gezielte Bearbeitungsmaßnahme aufzubrechen, langfristig durch Bewuchs zu lockern und nicht zu vermeidende hohe Oberflächenabflüsse direkt in die Wadis abzuleiten!

ANHANG

Präsentationen der Projektforschung auf Konferenzen und Arbeitskreisen (ohne Institutskolloquien u.ä.; nur Beiträge mit mehrheitlicher Forschung aus diesem Projekt)

Juli 2011 – Rainfall Simulator Workshop, Trier: Peter et al. (Poster)

- Peter, K.D., Ries, J.B., Marzolff, I. & d'Oleire-Oltmanns, S. (2011): Surface Runoff and Soil Erosion in agro-industrially used Landscapes between High and Anti-Atlas. Poster auf dem Rainfall Simulator Workshop, 30.06.-01.07.2011, Trier.

September 2011 – Jahrestagung AK Geomorphologie, Leipzig: Peter et al. (Poster)

- Peter, K.D. & Ries, J.B. (2011): Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in agro-industriell genutzten Landschaften zwischen Hohem und Anti-Atlas. Poster auf der Jahrestagung des Deutschen Arbeitskreis für Geomorphologie, 28.09.-01.10.2011, Leipzig.

November 2011 – 1st World Sustainability Forum, Online: d'Oleire-Oltmanns et al. (Präsentation)

- d'Oleire-Oltmanns, S., Marzolff, I., Peter, K.D., Ries, J.B. & Ait Hssaïne, A. (2011): Monitoring Soil Erosion in the Souss Basin, Morocco, with a multiscale Object-based Remote Sensing Approach using UAV and Satellite Data. - In: Proceedings of the 1st World Sustainability Forum, 1-30 November 2011; Sciforum Electronic Conferences Series, 2011

April 2012 – European Geoscience Union (EGU), Wien: d'Oleire-Oltmanns et al. (Poster), d'Oleire-Oltmanns et al. (Vortrag) Peter et al. (Poster)

- d'Oleire-Oltmanns, S. & Marzolff, I. (2012): UAV derived data for the monitoring of gully erosion in the Souss Basin, Morocco. Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-911.
- d'Oleire-Oltmanns, S., Marzolff, I. & L. Schrott (2012): The use of very high resolution DSMs for the investigation of gully evolution in the Souss Basin, Morocco derived from UAV missions. Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-914.
- Peter, K.D., Ries, J.B., Marzolff, I. & d'Oleire-Oltmanns (2012): Soil Erosion in agro-industrially used Landscapes between High and Anti-Atlas. Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-8142.

August 2012 – 32nd International Geographical Congress (IGC), Köln: Ries (Vortrag)

- Ries, J.B., Marzolff, I. & Seeger, M. (2012): Gully Erosion and Land Degradation in Semi-arid Environments - Monitoring, Quantification and Assessment. Vortrag in der Fachsitzung "Land Degradation and Desertification" auf dem 32nd International Geographical Congress (IGC), 26.-30.08.2012, Köln.

Mai 2012 – 4th GEOBIA, Rio de Janeiro: d'Oleire-Oltmanns et al. (Vortrag)

- d'Oleire-Oltmanns, S., Eisank, C., Drägut, L., Schrott, L. Marzolff, I. & Blaschke, T. (2012b): Object-based landform mapping at multiple scales from digital elevation models (DEMs) and aerial photographs. - In: Proceedings of the 4th GEOBIA, May 7-9, 2012, Rio de Janeiro, Brazil: 496-500.

Oktober 2012 – Jahrestagung AK Geomorphologie, Freising-Weihenstephan: Giudici et al. (Vortrag), Peter et al. (Poster)

- Giudici, C., Peter, K.D., Schneider, R. & Ries, J. B. (2012): Die Funktion von Schlammkrusten im Oberflächenabfluss-/Bodenabtragsgeschehen in der Souss-Ebene, Südmarokko. Poster auf der Jahrestagung des Deutschen Arbeitskreis für Geomorphologie, 10.10.-13.10.2012, Freising.
- Peter, K.D., Ries, J.B., d'Oleire-Oltmanns, S. & Marzolff, I. (2012): Auswirkungen von Planierungen auf Gullyeinzugsgebiete im Souss-Tal/Südmarokko. Poster auf der Jahrestagung des Deutschen Arbeitskreis für Geomorphologie, 10.10.-13.10.2012, Freising.

November 2012 – 9th International Conference of the African Association of Remote Sensing of the Environment (AARSE), El Jadida: d'Oleire-Oltmanns et al. (Vortrag)

- d'Oleire-Oltmanns, S., Marzolff, I., Peter, K.D., Ries, J.B., Ghafrani, H. & Ait Hssaïne, A. (2012): Combining multiscale remote sensing with experimental measurements for investigating gully erosion development in the Souss Basin, Morocco. Proceedings of the 9th International Conference of the African Association of Remote Sensing and the Environment (AARSE), 29.10.-02.11.2012, El Jadida, Morocco.

April 2013 – European Geoscience Union (EGU), Wien: Ait Hssaïne et al. (Vortrag), Ghafrani et al. (Poster), Giudici et al. (Poster), Peter et al. (Vortrag), Peter et al. (Poster)

- Ait Hssaïne, A., Ghafrani, H., Peter, K.D., d'Oleire-Oltmanns, S., Ries, J.B. & Marzolff, I. (2013): Morphostructural context of gullies in Taroudant, Morocco. Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-8255.
- Ghafrani, H. & Ait Hssaïne, A. (2013): Water erosion and soil protection technology in the agro-industrial farms around the Wadi El Ouaar, Taroudant sedimentary fan, Morocco. Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-426.
- Giudici, C., Peter, K.D., Schneider, R., Ries, J.B. & Ait Hssaïne, A. (2013): The impact of soil crusts on overland flow and soil degradation processes in Souss valley, South Morocco. Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-7047.

- Peter, K.D., d'Oleire-Oltmanns, S., Ries, J.B., Marzolff, I. & Ait Hssaïne, A. (2013): Impact of land-levelling measures on gully and soil erosion analysed by rainfall simulation and UAV remote sensing data in the Souss Basin, Morocco. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 15, EGU2013-8521.
- Peter, K.D., Iserloh, T., d'Oleire-Oltmanns, S., Ries, J.B., Marzolff, I., Ghafrani, H. & Ait Hssaïne, A. (2013): Auswirkungen von Planierungsmaßnahmen auf Gully- und Bodenerosion im Souss Becken, Marokko. Vortrag auf der Jahrestagung des Deutschen Arbeitskreis für Geomorphologie, 07.10.-09.10.2013, Eichstätt.
- Peter, K.D., Ries, J.B. & Ait Hssaïne, A. (2013): Influence of land use on rainfall simulation results in the Souss basin, Morocco. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 15, EGU2013-4756.

Mai 2013 – 6th International Symposium on Gully Erosion in a Changing World, Iasi: Marzolff et al. (Vortrag)

- Marzolff, I., Ries, J. B., d'Oleire-Oltmanns, S., Peter, K. D. & Ait Hssaïne, A. (2013): Controlling or boosting gully erosion? The impact of land levelling in the Souss Basin, Morocco, analysed by UAV-based remote sensing and rainfall simulations. 6th International Symposium on Gully Erosion in a Changing World, 06-12 May 2013, Iasi, Romania Book of abstracts: 19.

Juli 2013 – AGIT - Symposium für Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, Salzburg: d'Oleire-Oltmanns (Vortrag)

- d'Oleire-Oltmanns, S. (2013). UAS-Luftbildbefliegung in Marokko - ein Anwendungsbeispiel zur Untersuchung von Bodenerosion. In: Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (Eds.). *Angewandte Geoinformatik 2013*:20–28.

Oktober 2013 – Jahrestagung AK Geomorphologie, Eichstätt: Kaiser et al. (Poster), Peter et al. (Vortrag)

- Kaiser, A., Rock, G., Müller, C. & Ries, J.B. (2013): High resolution surface model – low cost method: erosion monitoring via structure from motion in semiarid landscapes. Poster auf der Jahrestagung des Deutschen Arbeitskreis für Geomorphologie, 07.10.-09.10.2013, Eichstätt.
- Peter, K.D., Iserloh, T., d'Oleire-Oltmanns, S., Ries, J.B., Marzolff, I., Ghafrani, H. & Ait Hssaïne, A. (2013): Auswirkungen von Planierungsmaßnahmen auf Gully- und Bodenerosion im Souss Becken, Marokko. Vortrag auf der Jahrestagung des Deutschen Arbeitskreis für Geomorphologie, 07.10.-09.10.2013, Eichstätt.

April 2014 – European Geoscience Union (EGU), Wien: Kaiser et al. (Poster), Kaiser et al. (Vortrag), Marzolff (Vortrag)

- Kaiser, A., Peter, K.D., Brings, C., Iserloh, T., Seeger, M., Ghafrani, H., d'Oleire-Oltmanns, S., Marzolff, I., Ait Hssaïne, A. & Ries, J.B. (2014): Gully erosion and land degradation in the Souss Basin, southern Morocco - application of airborne and terrestrial imagery and SfM procedures. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 16, EGU2014-8525.
- Kaiser, A., Rock, G., Neugirig, F., Müller, C. & Ries, J.B. (2014): Erosion research with a digital camera: the structure from motion method used in gully monitoring - field experiments from southern Morocco. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 16, EGU2014-6471.
- Marzolff, I. (2014): The sky is the limit? 20 years of small-format aerial photography taken from UAS for monitoring geomorphological processes. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 16, EGU2014-7005.

Mai 2014 – 5th GEOBIA, Thessaloniki: d'Oleire-Oltmanns et al. (Vortrag)

- d'Oleire-Oltmanns, S. & Tiede, D. (2014): Specific target objects – specific scale levels? Application of the estimation of scale parameter 2 (ESP2) tool for the identification of scale levels for distinct target objects. *South Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics* 25 (3): 579-584.

Oktober 2014 – Jahrestagung AK Geomorphologie, Kiel: Peter et al. (Poster)

- Peter, K.D., Kirchhoff, M. & Ries, J.B. (2014): Wadi-Dynamik in Südmarokko. Poster auf der Jahrestagung des Deutschen Arbeitskreis für Geomorphologie, 02.10.-04.10.2014, Kiel.

März 2015 - 35. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung DGPF: d'Oleire-Oltmanns et al. (Vortrag)

- d'Oleire-Oltmanns, S., Marzolff, I. & Blaschke, T. (2015): Gully mapping on multiple scales based on UAV and satellite data. *DGPF Tagungsband* 24:263-269

April 2015 – European Geoscience Union (EGU), Wien: Marzolff et al. (Poster), d'Oleire-Oltmanns et al. (Poster), Onnen et al. (Poster), Steiner et al. (Poster)

- Marzolff, I., Pani, P., Mohapatra, S., Ghafrani, H. & Ait Hssaïne, A. (2015): Sustainability of land reclamation measures in erosional badlands: A comparative perspective on semi-arid landscapes of South Morocco and Central India. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, EGU2015-9825.
- d'Oleire-Oltmanns, S., Marzolff, I., Tiede, D. & Blaschke, T. (2015): Mapping gully-affected areas in the region of Taroudannt, Morocco based on Object-Based Image Analysis (OBIA). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, EGU2015-13558.
- Onnen, N., Gronz, O., Ries, J.B. & Brings, C. (2015): Accurate, low-cost 3D-models of gullies. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, EGU2015-13245.

- Steiner, F., Marzolff, I. & d'Oleire-Oltmanns, S. (2015): Hydrologic validation of a structure-from-motion DEM derived from low-altitude UAV imagery. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-10127.

Oktober 2015 – Deutscher Kongress für Geographie, Berlin: Marzolff et al. (Poster)

- Marzolff, I., Pani, P., Ghafrani, H. & Aït Hssaine, A. (2015): Land-levelling of erosional badlands: A comparative perspective on land-reclamation measures in South Morocco and Central India. Poster auf dem Deutschen Kongress für Geographie, Berlin.