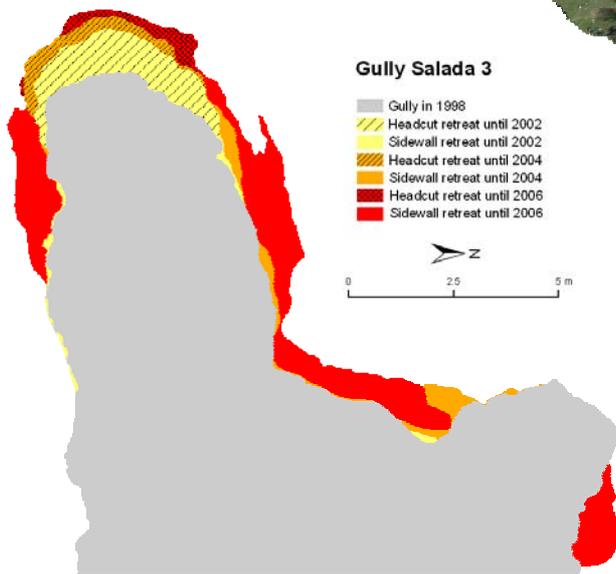
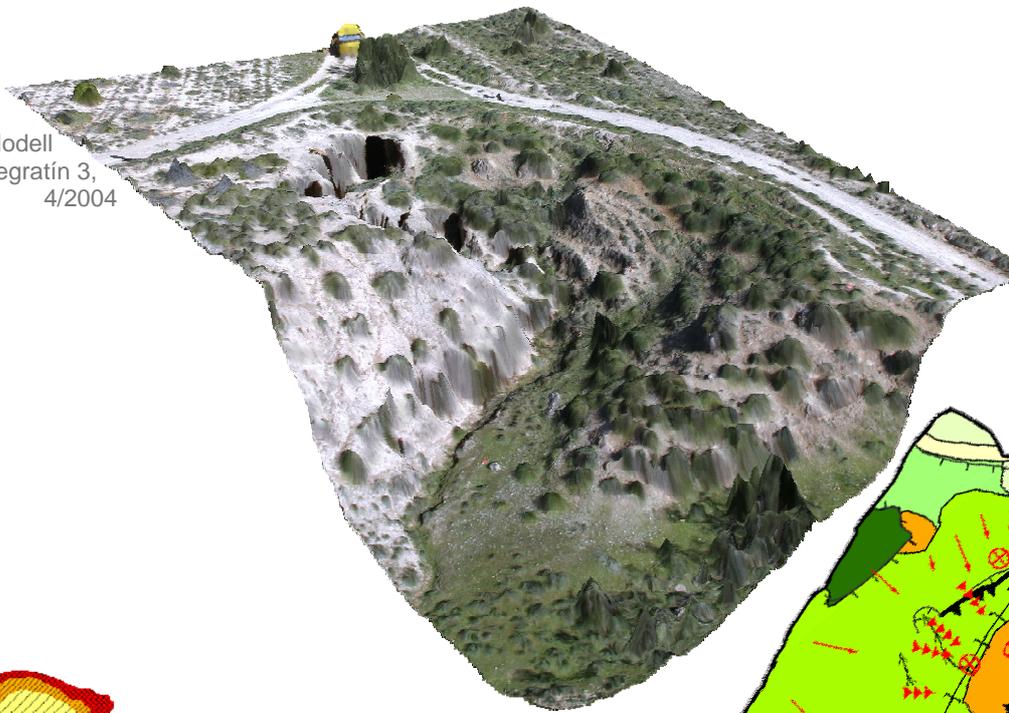


# Großmaßstäbiges Gully-Monitoring in semiariden Landschaften (MoGul – DFG-Projekt RI 835/2-1 bzw. MA 2549/1-1)

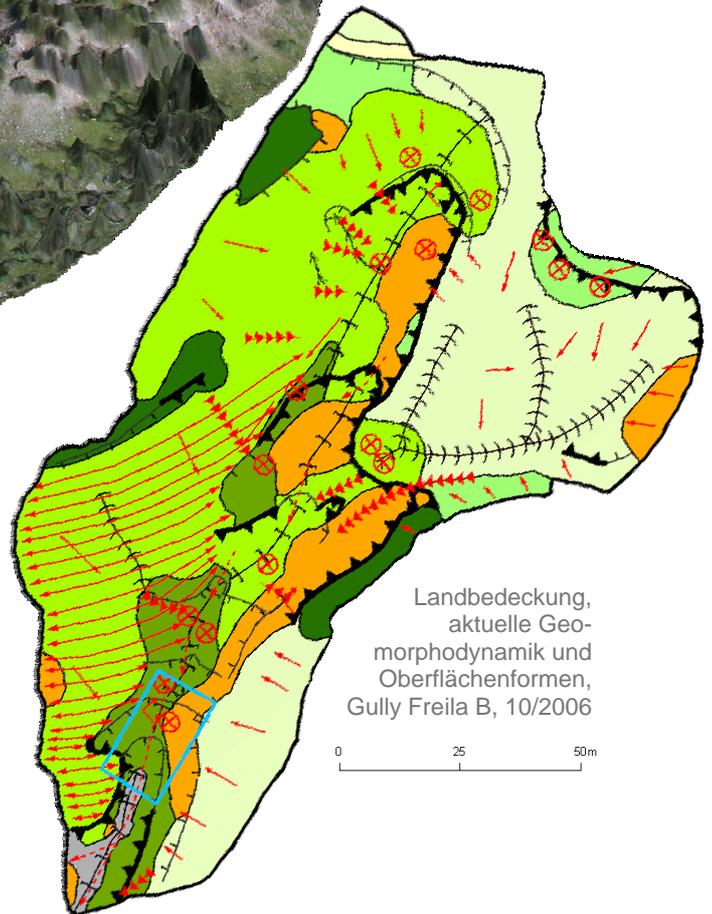
## Abschlussbericht

3D-Modell  
Gully Negratin 3,  
4/2004



**Gully Salada 3**

- Gully in 1998
- Headcut retreat until 2002
- Sidewall retreat until 2002
- Headcut retreat until 2004
- Sidewall retreat until 2004
- Headcut retreat until 2006
- Sidewall retreat until 2006



Landbedeckung,  
aktuelle Geomorphodynamik und  
Oberflächenformen,  
Gully Freila B, 10/2006

Johannes B. Ries

Physische Geographie, Fachbereich VI Geographie/Geowissenschaften, Universität Trier

Irene Marzloff

Institut für Physische Geographie, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

November 2007

## 1. Allgemeine Angaben

**DFG-Geschäftszeichen** RI835/2-1 bzw. MA 2549/1-1  
**Antragsteller** Prof. Dr. Johannes B. Ries  
 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

Dr. Irene Marzolff  
 Institut für Physische Geographie  
 Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main  
 Altenhöferallee 1  
 D-60438 Frankfurt am Main  
 Tel.: 069-798-40173  
 Fax: 069-798-40169  
 e-mail: marzolff@em.uni-frankfurt.de

**Thema/Name des Projekts** Großmaßstäbiges Gully-Monitoring in semi-ariden Landschaften („MoGul“)

**Förderungs- und Berichtszeitraum** 1.6.2003 – 30.11.2007  
 Laufzeit zweimal kostenneutral verlängert wegen Organisation des 55. Dt. Geographentages und Elternzeit des Antragstellers Ries

### Publikationsliste aus dem Projekt

#### A) Unmittelbar aus dem Projekt hervorgehende Veröffentlichungen

**Marzolff, I. & Ries, J. B.** (2007): Gully monitoring in semi-arid landscapes. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 51 (4): 405–425.

**Marzolff, I., Giménez, R., Seeger, M., Campo, M.A., Ries, J. B., Casalí, J. & Álvarez-Mozos, J.** (2007): Photogrammetrical and field measurement of gullies with contrasting morphology. – In: Casalí, J.; Giménez, R. (Eds.): *Progress in Gully Erosion Research. IV International Symposium on Gully Erosion*, September 17-19, 2007, Pamplona, Spain; Pamplona: 86-87.

(Kurzfassung des auf der Tagung präsentierten Posters, welches mit dem First Poster Prize ausgezeichnet wurde.)

**Ries, J. B., Marzolff, I. & Seeger, M.**: Gully erosion monitoring in semi-arid landscapes – Monitoring of processes and development. – In: Casalí, J.; Giménez, R. (Eds.): *Progress in Gully Erosion Research. IV International Symposium on Gully Erosion*, September 17-19, 2007, Pamplona, Spain; Pamplona: 102-103.

**Marzolff, I. & Poesen, J.** (2007 in prep.): The potential of 3D gully monitoring with GIS using high-resolution aerial photography and a digital photogrammetry system. *Eingereicht bei Geomorphology, in Begutachtung.*

**Seeger, M., Marzolff, I. & Ries, J. B.** (2007): Identification of gully development processes in semi-arid landscapes. – In: Lorz, C. & Faust, D. (Eds.): *Human Impact, Relief, Environment. (Advances in GeoEcology, 40.)*. *Eingereicht, in Begutachtung.*

**Ries, J. B., Iserloh, T., Wistorf, S., Fister, W. & Seeger, M.** (2008 in prep): Rainfall simulation experiments – drop spectra, fall velocity and distribution pattern of artificial rainfall. *Eingereicht bei Earth Surface Processes and Landforms.*

**Ries, J. B., Marzolff, I. & Poesen, J.** (für 2008 in prep.): Medium term dynamics of gully head and sidewall retreat in a semi-arid environment.

*In Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Jean Poesen (K.U. Leuven, Belgien) arbeiten die Antragsteller an einem Artikel zu den Ergebnissen des Gully-Monitorings an den südspanischen Projektstandorten. Hierin wird insbesondere die Abhängigkeit verschiedener Gully-Erosions-Prozesse an Headcut und Seitenwänden von den Gegebenheiten in der unmittelbaren Gully-Umgebung untersucht sowie unter methodischen Gesichtspunkten die Konsequenzen für die Ermittlung von kurz- und mittelfristigen Gully-Erosionsraten diskutiert werden. Der Artikel wird April 2008 bei Earth Surface Processes and Landforms eingereicht.*

**Aber, J. S., Marzolff, I. & Ries, J. B.** (für 2009 in prep.): Small Format Aerial Photography: Principles, techniques and geoscience applications. - Elsevier.

*In Zusammenarbeit mit Prof. Dr. James S. Aber (Emporia University, Kansas, USA) werden die Antragsteller im Jahr 2009 ein ca. 300 Seiten starkes Lehrbuch zu Techniken und Anwendungen großmaßstäbiger Luftbild-Photographie in den Geowissenschaften bei Elsevier verlegen (siehe beiliegende Vertragskopie). Das in drei Teile strukturierte Werk – Introduction, SFAP techniques, Applications – wird in hohem Maße technisches know-how, Auswertemethoden, Anwendungsbeispiele und Abbildungsmaterial enthalten, welche von den Antragstellern im Rahmen des MoGul-Projektes erarbeitet wurden.*

## **B) Weitere aus dem Projektumfeld hervorgehende Veröffentlichungen**

Im Folgenden sind Artikel gelistet, die unter Bereitstellung und Verwendung von Daten aus dem MoGul-Projekt zustande gekommen sind bzw. abgeschlossen werden konnten. Insbesondere die experimentellen Messverfahren zur Abschätzung der Oberflächenabflussgenerierung in den Einzugsgebieten oberhalb der Gully-Headcuts, welche innerhalb des MoGul-Projektes erhoben wurden, konnten zu spezifischen Fragen der Methodenforschung ausgewertet werden.

**Ries, J. B.** (2005): Soil erosion on abandoned fields in Mediterranean mountains – Monitoring of processes and development. *Journal of Mediterranean Ecology* 6(1): 43-52.

**Seeger, M.** (2007): Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena* 71 (1): 56-67.

**Ries, J. B. & Hirt, U.** (2008): Permanence of soil surface crusts on abandoned farmland in the Central Ebro Basin/Spain. *Catena* 72 (2): 282-296.

**Sauer T. & Ries J. B.** (2007 in press): Vegetation cover and geomorphodynamics on abandoned fields in the Central Ebro Basin/Spain. *Geomorphology*.

## **C) Vorträge und Posterpräsentationen mit Ergebnissen von Ri 835/2-1**

7/2003 **Marzolff, I., Ries, J. B. & Albert, K.-D.**: High resolution photogrammetric mapping and modelling of gully erosion using kite aerial photography. – Vortrag, COST 623 Final Meeting and Conference: Soil Erosion and Global Change – Results and New Perspectives, 5.-8.7.2003, Budapest, Ungarn.

10/2003 **Marzolff, I.**: Der Einsatz von großmaßstäbigen Kartenzeitreihen und 3D-Modellen für die Landdegradationsforschung. – Vortrag, Festkolloquium "25 Jahre Studiengang Kartographie und Geomatik", Fachhochschule Karlsruhe, 23.10.2003, Karlsruhe.

11/2004 **Marzolff, I. & Wachsmuth, A.**: Kleinbildphotogrammetrie für hochauflösendes Luftbild-Monitoring von Erosionsformen in semiariden Landschaften. – Vortrag, LeicaGeosystems GIS & Mapping User Group Meeting, 3.-5.11.2004, Fürstfeldbruck.

- 9/2005 **Marzolff, I.:** 3D modelling and monitoring of erosion gullies with GIS using high resolution aerial photography and a digital photogrammetry system. – Vortrag, Sixth International Conference on Geomorphology (ICG), 7.-11.9.2005, Zaragoza, Spanien.
- 9/2005 **Ries, J. B.:** Processes Leading to Land Degradation and Desertification in NE-Spain. – Poster, Sixth International Conference on Geomorphology (ICG), 7.-11.9.2005, Zaragoza, Spanien.
- 9/2005 **Sauer, T. & Ries, J. B.:** Soil Water, Vegetation Cover and Geomorphodynamics on Extensified Fields in the Central Ebro Basin. – Vortrag, Sixth International Conference on Geomorphology (ICG), 7.-11.9.2005, Zaragoza, Spanien.
- 11/2005 **Marzolff, I.:** 3d-Modellierung und Monitoring von Gully-Erosion mit hochauflösenden Luftbildern in einem digitalen Photogrammetriesystem. – Posterbeitrag, Workshop "Erdoberflächenprozesse" des Arbeitskreis Geomorphologie, 25.-26.11.2005, Göttingen.
- 9/2006 **Marzolff, I. & Ries, J. B.:** Gully erosion monitoring in semi-arid landscapes. – Vortrag, International ESSC Conference on "Soil and Water Conservation under Changing Land Use", 12.-15.9.2006, Lleida, Spanien.
- 9/2006 **Ries, J. B. & Seeger, M.:** Land degradation and desertification in the Central Ebro Basin. – Vortrag, International ESSC Conference on „Soil and Water Conservation Under Changing Land Use“, 12.-15.9.2006, Lleida, Spanien.
- 10/2006 **Seeger, M., Marzolff, I. & Ries, J. B.:** Identification of gully-development processes in semi-arid landscapes. – Posterbeitrag, 32. Jahrestagung des AK Geomorphologie, 4.-5.10.2006, Dresden.
- 10/2006 **Seeger, M., Wirtz, S. & Schäfer, B.:** An experimental method for quantification of rill erosion. – Posterbeitrag, 32. Jahrestagung des AK Geomorphologie, 4. - 5.10.2006, Dresden.
- 6/2007 **Marzolff, I. & Ries, J. B.:** Gully erosion on Quaternary sediments in Morocco, Spain and Burkina Faso – Monitoring of processes and development. – Vortrag, "Colloque en hommage à André Weisrock: Géomorphologie et Quaternaire du Maroc", 6.6.2007, Nancy, Frankreich.
- 9/2007 **Ries, J. B., Marzolff, I. & Seeger, M.:** Gully erosion monitoring in semi-arid landscapes – Monitoring of processes and development. – Vortrag, IV International Symposium on Gully Erosion, 17.-19.9.2007, Pamplona, Spanien.
- 9/2007 **Marzolff, I., Giménez, R., Seeger, M., Campo, M.A., Ries, J. B., Casalí, J. & Álvarez-Mozos, J.:** Photogrammetrical and field measurement of gullies with contrasting morphology. – Posterbeitrag, IV International Symposium on Gully Erosion, 17.-19.9.2007, Pamplona, Spanien. *Ausgezeichnet mit dem First Poster Prize*

## 2. Arbeits- und Ergebnisbericht

### 2.1 Ausgangsfragen und Zielsetzung des Projekts

Ziel ist die Dokumentation und Analyse der Gully-Entwicklung auf Flächen mit unterschiedlicher Landnutzung und Substraten unter subhumiden bis ariden Bedingungen. Hierzu wurden in 4 Untersuchungsgebieten im mediterran semiariden Nordostspanien (Zentrales Ebrobecken, Provinz Zaragoza), mediterran subhumiden Südspanien (Guadalentín-Becken, Provinz Murcia und Becken von Baza, Provinz Granada) sowie im rand-saharischen Südmarokko (Südabdachung des Anti-Atlas, Fom el Hassane) die Gully-Entwicklung und deren Rahmenbedingungen im Einzugsgebiet untersucht. Einbezogen wurden bereits erhobene Daten (großmaßstäbige Luftbilder, Kartierungen, Oberflächenabfluss- und Infiltrationsraten) aus dem tropisch-wechselfeuchten Sahel Burkina Faso (SFB 268). Die möglichst genaue Quantifizierung der Gully-Entwicklung ist Voraussetzung für die Abschätzung der Gully-Erosion am Gesamterosionsgeschehen. Die Zielsetzung gliedert sich in inhaltliche und methodische Ziele.

#### 1 Inhaltliche Ziele:

Bestimmung der Gully-Entwicklung (Headcut Retreat-Raten und Volumenzunahme) in Abhängigkeit von

- 1.1 Substrat (Genese, Schichtung, Anfälligkeit gegenüber Dispergierung sowie Piping und Starkregenhäufigkeit)
- 1.2 Oberflächenabfluss- und Infiltrationsraten (Einfluss der Nutzung im Einzugsgebiet)

#### 2 Methodische Ziele:

- 2.1 Evaluierung des digitalen Photogrammetriesystems OrthoBASE/StereoAnalyst zur dreidimensionalen Erfassung und Quantifizierung von Gullies
- 2.2 Verbesserung der fernerkundlichen Aufnahmesysteme durch Einsatz einer digitalen Spiegelreflexkamera
- 2.3 Steigerung der photogrammetrischen Eigenschaften der Luftbildkameras durch vermessungstechnische Kalibrierung

ad 1.1: Quantifizierung der Gully Headcut Retreat-Raten mit selbst erstellten großmaßstäbigen Luftbildern.

ad 1.2: Neben den konventionellen Untersuchungen zur Bodenphysik, zum Porenvolumen und der Substratanalyse, auf die in diesem Abschlussbericht nicht weiter eingegangen werden soll, wurden in Abhängigkeit von der aktuellen Nutzung, dem Ausmaß von Bodenkrusten und Steinauflagen in den Einzugsgebieten der Gullies Niederschlagssimulationen und Infiltrationsmessungen mit der mobilen Kleinberegnungsanlage durchgeführt. Ziel ist die Abschätzung der potentiellen standörtlichen Oberflächenabflussbildung auf verschiedenen Landnutzungen in unterschiedlichen Hangpositionen. Ergebnis ist je eine Karte zur flächenbezogenen Oberflächenabflusspende der Einzugsgebiete. In Kombination mit der Karte der Bedeckung/geomorphologische Karte (Bsp. siehe Abb. Titelblatt, rechts unten) erlaubt dies eine abschließende Bewertung bezüglich des Einflusses unterschiedlicher Landnutzungen, der Größe der Teileinzugsgebiete und der Erfassung von Fließwegen für die einzelnen Headcuts.

ad 2.1: 2D-Quantifizierung durch Kartierungen erlauben keine Aussage über Volumen und Volumenveränderungen. In Anbetracht der großen Tiefe von Gullies resultieren bereits kleine Rückverlegungsraten in sehr großen Volumenzuwächsen. Das Bildverarbeitungssystem ERDAS Imagine wurde um das digitale Photogrammetriemodul LPS (frühere Version: OrthoBASE/StereoAnalyst) ergänzt. Ziel war die Anfertigung detaillierter Geländemodelle sowie Höhenlinienkarten und damit die Volumenberechnungen, die Erstellung von Orthophotos und die 3D-Visualisierung.

ad 2.2: Die Frage, ob Digitalaufnahmen der neuen Spiegelreflexkamera für die Luftbildbefliegungen gegenüber dem photographischen Film bessere radiometrische Stabilität bieten, konnte im Rahmen des Projekts geklärt werden. Die sofortige Kontrolle der Abdeckung und Bildqualität erweist sich als großer Vorteil.

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

Die Arbeiten wurden wie beantragt durchgeführt. Eine Ausnahme bildete die zeitliche Durchführung: Das Projekt lief kostenneutral 2 Jahre länger als vorgesehen. Durch die Berufung und den Wechsel des Antragstellers Ries auf die C4-Professur für Physische Geographie der Universität Trier und die dort unmittelbar anstehende Vorbereitung und Durchführung des 55. Deutschen Geographentags ergab sich eine Verzögerung des Ablaufs um gut 1 Jahr. Hinzu kam Elternzeit des Antragstellers Ries von November 2005 bis März 2006. Im Zeitraum Winter 2006 – bis Frühjahr 2007 war die Antragstellerin Marzolff Umzugsbeauftragte des Frankfurter Instituts für Physische Geographie, welches von der Senckenberganlage an den Riedberg umzog.

Es gab außer der zeitlichen Streckung keine Konzeptabweichung und keine wissenschaftlichen Fehlschläge. Die Probleme in der Projektorganisation und bei der technischen Durchführung beschränkten sich auf das bei derartigen Geländearbeiten Übliche (Gestängebruch bei Flugdrachen, Schwierigkeiten bei der elektronischen Steuerung etc.).

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

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurden Untersuchungen an 18 Gullies in Nordostspanien, Südspanien und Südmarokko neu begonnen bzw. fortgesetzt sowie Daten von Gullies in Burkina Faso (untersucht im Rahmen des SFB 268) eingearbeitet. Während der Projektlaufzeit wurden in vier Geländekampagnen (Herbst 2003, Frühjahr 2004, Frühjahr 2006, Herbst 2006) ca. 4000 Luftbilder aufgenommen, 91 Berechnungsversuche und 67 Infiltrationsversuche durchgeführt sowie umfangreiche großmaßstäbige Detailkartierungen zur Bedeckung und zu den geomorphologischen Prozessen in 13 Gully-Einzugsgebieten vorgenommen.

### 2.3.1 Inhaltliche Ergebnisse

Die inhaltlichen Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen bzw. beispielhaft vorstellen:

- Die Entwicklungsgeschwindigkeit der Gullies ist je nach Untersuchungsregion unterschiedlich und im Fall der spanischen Gullies langsamer als zuvor vermutet. Die Quantifizierung von Flächenzuwachs, *maximum linear retreat rate* ( $R_{\max}$ , maximale rückschreitende Erosionsrate an der Stelle größten Zuwachses) und *mean linear retreat rate* ( $R_{\text{mean}}$ , mittlere rückschreitende Erosionsrate an allen aktiven Gully-Rändern, vgl. Marzolff & Poesen, 2007 in prep.) an 13 Gullies mit scharfkantigen Rändern zeigt starke Differenzen entlang des Untersuchungstransektes von Nordostspanien bis Burkina Faso. Die niedrigste Erosionsrate aller aktiven Gullies wurde am Barranco des las Lenas gemessen, der von den Antragstellern bereits seit 1995 durch Luftbildmonitoring beobachtet wird.  $R_{\max}$  variiert im Gesamtuntersuchungsraum zwischen unter  $10 \text{ cm a}^{-1}$  (Barranco des las Lenas, Casablanca) bis fast  $10 \text{ m a}^{-1}$  (Gorom-Gorom) und schwankt damit um etwa den Faktor 100; ebenso variiert  $R_{\text{mean}}$  zwischen den genannten Standorten um  $0,02$  und  $1,28 \text{ cm a}^{-1}$  – etwa um den Faktor 65 (vgl. frühere Version dieser Untersuchung in Marzolff & Ries, 2007) (siehe Tab. 1).
- Die Variationen von  $R_{\max}$  und  $R_{\text{mean}}$  innerhalb einer Untersuchungsregion schwanken dagegen bis max. um den Faktor zehn; eine Abhängigkeit von der Größe des Einzugsgebietes ist nicht zu erkennen.
- Die Gully-Erosionsraten ( $R_{\max}$ ) für die südmarokkanischen Untersuchungsstandorte erweisen sich mit  $0-0,35 \text{ m a}^{-1}$  ( $R_{\max}$ ) bzw.  $0-0,12 \text{ m a}^{-1}$  ( $R_{\text{mean}}$ ) im Mittel als niedriger als diejenigen für die spanischen Standorte ( $R_{\max}$   $0,06-0,84 \text{ m a}^{-1}$  bzw.  $R_{\text{mean}}$   $0,02-0,20 \text{ m a}^{-1}$ ); die bei weitem höchsten Headcut-Erosionsraten wurden jedoch im west-afrikanischen Sahel beobachtet ( $R_{\max}$   $3,16-9,85 \text{ m a}^{-1}$  bzw.  $R_{\text{mean}}$   $0,18-1,28 \text{ m a}^{-1}$ ). Die gleiche Rangfolge der Untersuchungsregionen zeigt sich bei den mittleren jährlichen Flächenzuwachswerten.

Tabelle 1: Gully-Standorte mit Landnutzung/-bedeckung, Lithologie, Gesamteinzugsgröße, Monitoringzeitraum und jährlichen Gully-Entwicklungsraten.

Gully site	Land use/land cover	Lithology	Catchment size [ha]	Monitoring [years]	Area loss [m <sup>2</sup> a <sup>-1</sup> ]	R <sub>max</sub> [m a <sup>-1</sup> ]	R <sub>mean</sub> <sup>1)</sup> [m a <sup>-1</sup> ]
<b>Northeast Spain</b>							
Barranco de las Lenas	abandoned fields/sparse matorral	Holocene valley filling	30.7	11	4.81	0.06	0.02
Barranco Rojo	cereal fields/young fallow land	Holocene valley filling	13.7	4	4.68	0.50	0.15
<b>Southeast Spain</b>							
Salada 1 <sup>2)</sup>	almond plantation	Holocene valley filling	90	6	11.09	0.52	0.20
Salada 3	young fallow land	Holocene valley filling	1.4	8	2.55	0.20	0.08
Luchena 1	very sparse matorral	Holocene valley filling	0.15	8	1.29	0.25	0.05
Freila A	rangeland/abandoned fields	Holocene valley filling	5	4	3.48	0.84	0.10
Freila B	rangeland/abandoned fields	Holocene valley filling	1.3	4	1.07	0.29	0.06
Casablanca	rangeland	Holocene valley filling	1.9	4	1.22	0.09	0.03
<b>South Morocco</b>							
Foum el Hassane	loam terrace with stone pavement	Late Glacial/Holocene loam terrace	0.75	3	0	0	0
Icht	loam terrace	Late Glacial/Holocene loam terrace	~150	3	4.27	0.35	0.12
<b>Burkina Faso</b>							
Gorom-Gorom <sup>3)</sup>	grazed Acacia raddiana-savannah	Glacis d'accumulation	~100	2	323.81	9.85	1.28 <sup>4)</sup>
Oursi	rangeland on dunes	Pleistocene aeolian dune	0.3	4	41.120	3.16	0.18 <sup>4)</sup>

1) Mean linear retreat ermittelt nach der Methode von Vanderkerckhove et al. (2003), siehe Marzolff & Poesen (2007 in prep.), bezogen auf aktive Gullyrand-Bereiche

2) Veränderungsrate ermittelt an Piping-Loch am Headcut-Bereich wegen starker anthropogener Veränderung der restlichen Gully-Ränder

3) Veränderungsrate ermittelt an oberen 25 m des sehr mehrere hundert Meter langen, auf ganzer Länge aktiven Gullies

4) Der rechnerisch ermittelte Wert des mean linear retreat in alle Richtungen (R<sub>mean</sub>) führt wegen der stark ausgefransten Gully-Ränder an den Gullies Gorom-Gorom und Oursi zu einer deutlichen Unterschätzung der eigentlichen Rückzugsrate.

Tabelle 2: Wertespanspannen von Infiltrationskapazität, Oberflächenabflusskoeffizienten, Erosionsraten und Headcut-Erosionsraten in den Untersuchungsregionen, ermittelt auf Mikroplots mit für das Gully-Einzugsgebiet typischen Charakteristiken (Hangneigung, Verkrustung, Vegetations- und Steinbedeckung).

Study region	Infiltration rate [mm h <sup>-1</sup> ]		Runoff start [min]		Runoff coefficient		Material output [g m <sup>-2</sup> ]		I / RS experiments n	Headcut R <sub>max</sub> [m a <sup>-1</sup> ]
	min	max	min	max	min	max	min	max		
Northeast Spain	24	159	00:38	29:30	0.01	0.76	0.1	94.3	25 / 48	0.06 – 0.50
Southeast Spain	14	60	01:25	06:33	0.44	0.80	4.5	93.6	10 / 7	0.09 – 0.84
South Morocco	33	67	02:21	06:02	0.16	0.52	2.7	29.2	8 / 5	0 – 0.35
Burkina Faso	16	120	01:00	24:00	0.01	1.00	0.0	312.0	13 / 13	3.16 – 9.85

- Tab. 2 gibt eine Zusammenfassung von 56 Infiltrationsmessungen und 73 Niederschlags-simulationen in den Untersuchungsregionen. Die von Seeger (2007) durchgeführte statistische Analyse von Plot-Charakteristika und den Ergebnissen der Niederschlagssimulationen zeigt eine signifikante negative Korrelation zwischen Vegetationsbedeckung und Boden-erosionsraten. Die mangelnde Korrelation mit Oberflächenabflusskoeffizienten und die hohe Variabilität der Oberflächenabfluss-, Infiltrations- und Bodenerosionsraten verdeutlicht die starke räumliche Heterogenität der Erodibilität semi-arider Böden aufgrund lokaler Standorteigenschaften wie Krusten (Schlammkrusten, biogene Krusten, Flechten, Bioturbation etc.). Dennoch lassen sich Unterschiede in den verschiedenen Untersuchungsregionen erkennen: Die Spannen der Minimum- und Maximum-Werte der Bodenerosionsparameter ergeben dieselbe Rangfolge der Untersuchungsregionen (Marokko – Spanien – Burkina Faso) wie diejenigen der rückschreitenden Gully-Erosionsraten (vgl. ausführlichere Darstellung in Marzolff & Ries, 2007). Dies legt einen Zusammenhang zwischen der raum-zeitlichen Variabilität des Oberflächenabflussverhaltens und der Headcut-Erosion nahe, zu deren Erklärung detaillierte Gully-Entwicklungs-Kartierungen aus den hochauflösenden Luftbildern sowie die Charakteristika der unmittelbaren Umgebung und der Einzugsgebiete der Gullies wertvolle Hinweise geben können.

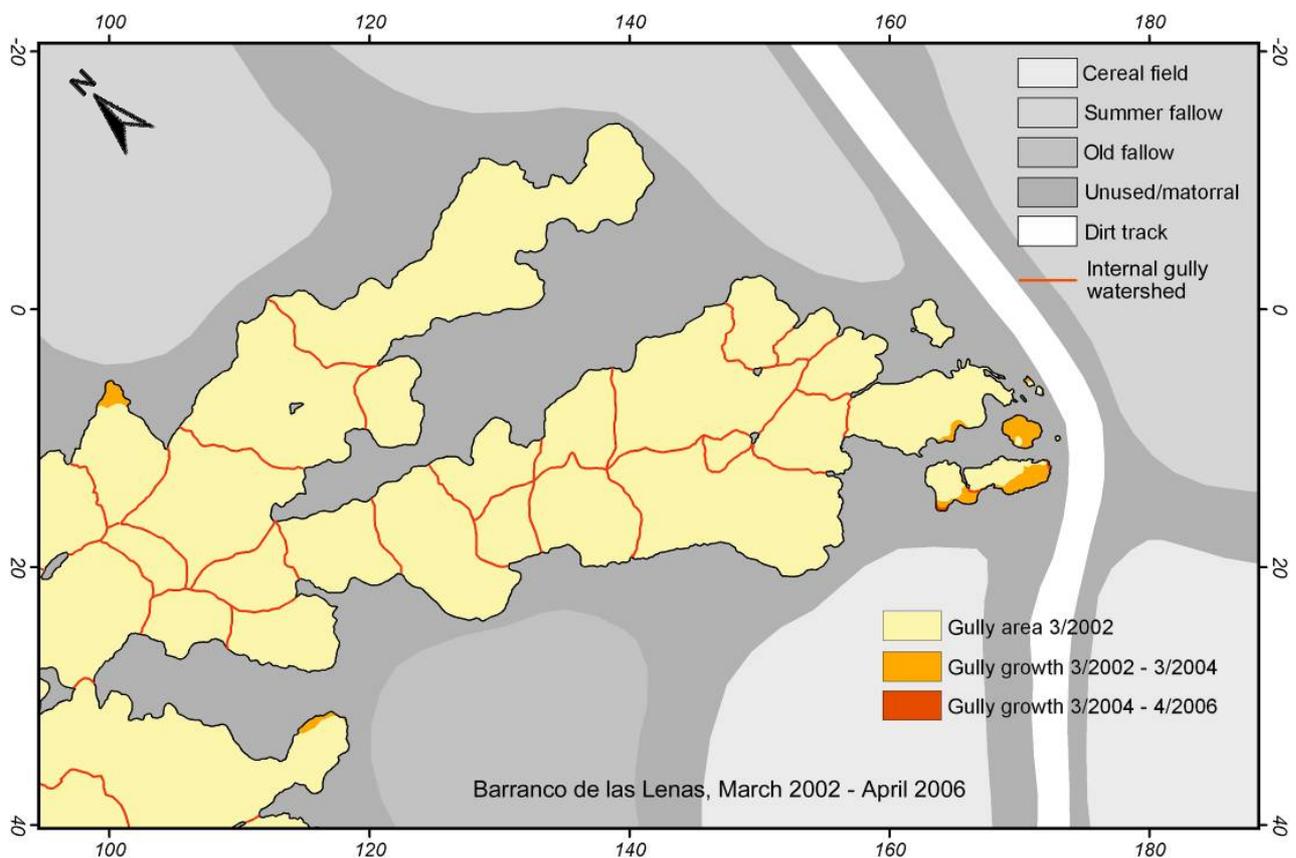


Abb. 1: Veränderungskarte Barranco Rojo, Nordostspanien. Flächenzuwachs 3/2002 – 3/2004: 18,3 m<sup>2</sup>; Flächenzuwachs 3/2004 – 4/2006: 0,4 m<sup>2</sup>.

- Am Beispiel des Barranco Rojo (nahe Botorrita, Nordostspanien) lässt sich mithilfe des Luftbildmonitorings, der experimentellen Untersuchungen im Umfeld und den Kartierungen des Einzugsgebiets schon nach kurzem Monitoring-Zeitraum die Entwicklungsgeschichte des Gullies nachvollziehen und erklären. Der dendritisch geformte Gully mit vielen Seiten-Headcuts (oberster Teil in Abb. 1) hat in den Beobachtungszeiträumen sehr unterschiedlich starke Entwicklung erfahren. Aus der Veränderungskartierung und der Topographie des Gully-Innenen lässt sich die wichtige Rolle von Piping-Prozessen bei der Entstehung und Weiterentwicklung ersehen: Der Gully weist in seinem oberen Bereich keine zusammenhängende Tiefenlinie auf, sondern unterteilt sich in zahlreiche zusammengewachsene, unterirdisch miteinander ver-

bundene Piping-Löcher. Die Ausbildung der Seitenarme und Seiten-Headcuts erfolgt noch episodischer als an anderen beobachteten Gullies. Hier besteht ein klarer Zusammenhang mit der hohen Differenziertheit der Landnutzung bzw. -bedeckung und geomorphodynamischen Prozessen im Einzugsgebiet (Abb. 2). Obwohl im südöstlichen, steilen Teil des Einzugsgebietes Rillen und Tiefenlinien in dichter Scharung kartiert wurden, laufen diese im Übergang zum tiefer gelegenen, überwiegend terrassierten Teil aus und es kommt zu Sedimentation von erodiertem Material. Lediglich in einem Graben entlang einer Feldgrenze besteht eine deutliche Konnektivität bis zum obersten *gully-headcut*, der sich aktuell weiterentwickelt. Über die geomorphologische Kartierung konnte ein aktuelles internes 1,4 ha-großes Einzugsgebiet definiert werden (gelbe Linie in Abb. 2), welches den Oberflächenabfluss für den erfassten Headcut der letzten 4 Jahre generiert. Die ermittelten Oberflächenabflussraten schwanken je

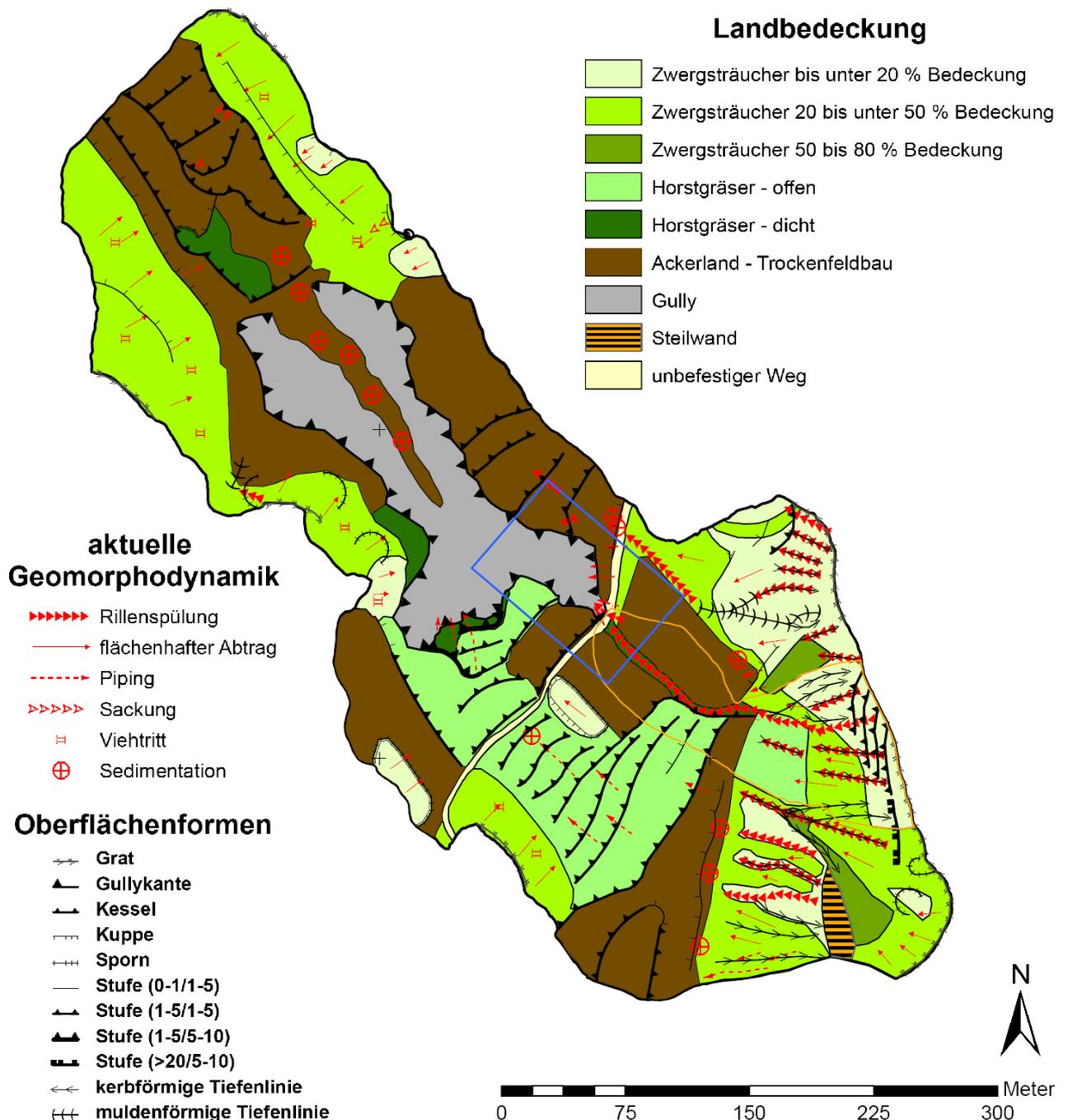


Abb. 2: Einzugsgebiet des Barranco Rojo, Nordostspanien: Landbedeckung, aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen März 2006 (aus: Geißler, 2007). Blau umrandet: Monitoring-Bereich aus Abb. 1.

nach Verschlämmungsgrad der aktuell gepflügten Ackerfläche zwischen 0 und 36% und reichen damit in den hohen Wertebereich, die Bodenerosionsraten liegen mit Werten bis zu  $64 \text{ g m}^{-2}$  in einem sehr hohen Wertebereich. Auf der Nordseite des Gullies, wo sich während des Monitoring-Zeitraumes ein Seiten-Headcut weiterentwickelt hat (Abb. 1, links) begünstigt die aktuelle Ackernutzung starke Oberflächenabflüsse durch geringe Bedeckung und starke Verschlämmung. Piping ist auch an den Terrassenkanten zu beobachten, so dass der Abfluss über mehrere Terrassen bis zum Gully gelangen kann. Durch den ständigen Wechsel von Bewuchs und Bearbeitung sind die Abflussprozesse auf den Ackerflächen und damit die Weiterbildungsraten am Gully-Rand bei kurzzeitiger Beobachtung (Monate bis wenige Jahre) räumlich stark variabel.

- Das oben angeführte Beispiel des Barranco Rojo verdeutlicht auch, warum im Gesamtuntersuchungsraum ein unmittelbarer Zusammenhang der Gully-Entwicklung mit Einzugsgebietsgrößen (Tab. 1) nicht gegeben ist. Die unterschiedlichen Oberflächenbedeckungen im Einzugsgebiet führen zu einer zu starken räumlichen Heterogenität des Abflussgeschehens. Die sich z. T. schnell ändernde Landnutzung, gerade der Wechsel zwischen Produktion und mehrjähriger Brache ohne Bodenbearbeitung, führen zu extrem starken Unterschieden in der Infiltrationsleistung und Abflusentstehung unterschiedlicher Flächen. Genutzte Areale fördern die Infiltration, und so den Piping-Prozess. Die Konnektivität von Hang und Gully kann durch Abflussbarrieren in Form von Vegetationsbedeckung oder mikrotopographischen Strukturen (Terrassierung, Dämme) ebenso unterbrochen werden, wie sie durch Bodenverkrustungen, Rillen oder Wege für Teileinzugsgebiete gefördert werden kann. Die steilen, nur spärlich mit Vegetation bedeckten Bereiche des Einzugsgebietes des aktiven Headcuts können im vorgestellten Fall direkt über linienhafte Abflussbahnen am Headcut wirksam werden (vgl. Geißler, 2007; Marzolff & Ries, 2007; Seeger, Ries & Marzolff, eing.).
- Eines der methodischen Ziele des Forschungsprojektes war es, die Möglichkeiten eines digitalen Photogrammetriesystems zur dreidimensionalen Auswertung der hochauflösenden Luftbilder zu evaluieren (siehe Kap. 2.3.2). Dies führte zur Entwicklung der unten dargestellten Methode der Gully-DGM-Erstellung. Über die reine Quantifizierung von linearen, flächenhaften und volumetrischen Veränderungsdaten hinaus ließen sich im GIS mithilfe dieser hochauflösenden Gully-Höhenmodelle 3D-Veränderungskarten erstellen, welche das Gesamtvolumen und den Volumenzuwachs der Gullies räumlich differenzieren und visualisieren. In Anbetracht der verhältnismäßig geringen Erosionsraten der spanischen und marokkanischen Gullies wurden Volumenquantifizierungen bisher nur beispielhaft an vier Gullies vorgenommen. Das

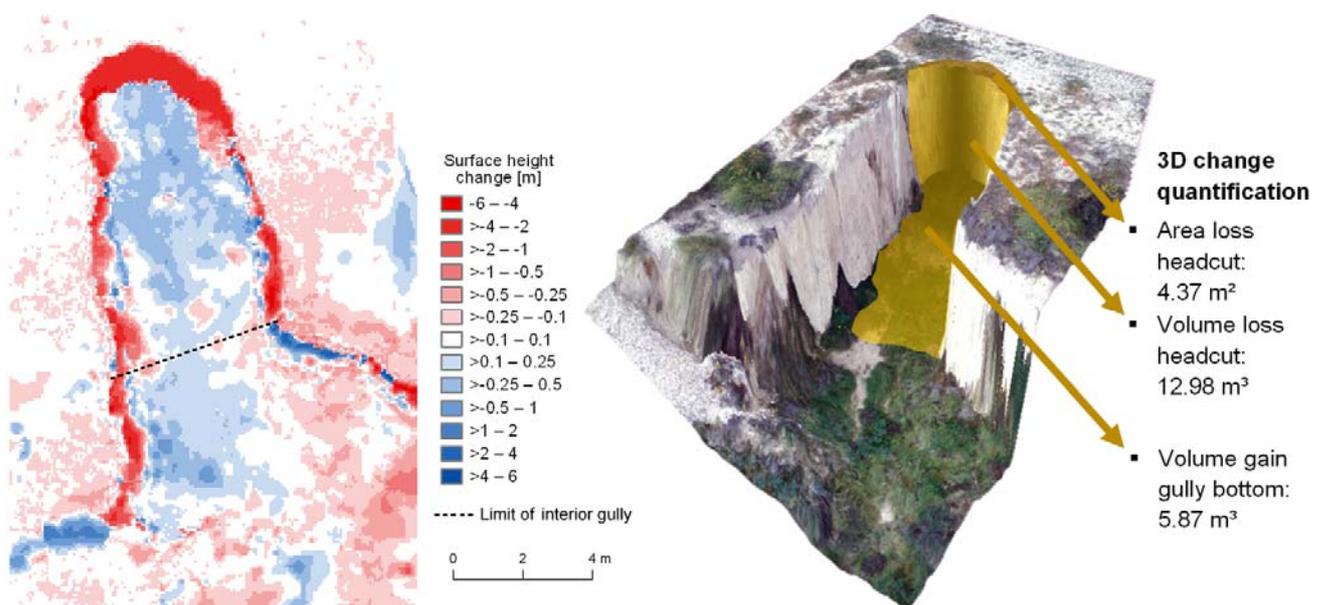


Abb. 3: Gully Salada 3, Südspanien, 3/1998 – 3/2002. Links: Differenzkarte der Gully-DGMs; rechts: 3D-Modell des Gully mit Veränderungswerten. Nähere Ausführungen siehe Marzolff & Poesen, 2007 in prep.

Beispiel des Gully Salada 3 (Abb. 3) gibt Aufschluss über unterschiedliche Aktivitätsbereiche am Gully-Headcut, den Gully-Wänden und dem Gully-Boden (siehe auch Marzolff & Poesen, 2007 in prep.). Anders als in fluvialmorphologischen Studien wurde bisher in der Gully-Forschung wenig Aufmerksamkeit auf kurzfristige Erosions/Depositions-Muster und damit den Aspekt des Sedimenttransfers (Tiefenerosion, Durchtransport, Verfüllung) im Gully gelegt. Obwohl die Sichtweise eines Gullies als negative Erosionsform, welche Sedimentfallen hangabwärts beliefert, in langfristiger Beobachtung gültig sein mag, ist die Funktionsweise weniger eindeutig auf der kurzzeitigen Skala. Dies hat entsprechende Konsequenzen für die Aussagefähigkeit von typischen *short-term* Monitoring-Daten des *headcut retreat* (z. B. durch Geländemesstechniken). So zeigen die Resultate am Gully Salada 3, dass 45% des am Gully-Headcut zwischen 1998-2002 erodierten Materials am Gully-Boden akkumuliert wurden, ohne aus dem System ausgetragen zu werden (Marzolff & Poesen, 2007 in prep.). In diesem Zeitraum fand kein vollständiger Durchtransport des erodierten Materials statt, die Erosionschlucht fungierte als ihr eigener Sedimentspeicher. Neuere, bisher nur 2D-ausgewertete Bilder (Abb. Titelblatt unten links), deren 3D-Auswertung in Arbeit ist, zeigen eine zwischenzeitlich veränderte Dynamik hin zur Verbreiterung des Gullies, welche deutlich höhere Sedimentausträge bewirkt als die eigentliche rückschreitende Erosion am Headcut (Ries, Marzolff & Poesen, 2008 in prep.).

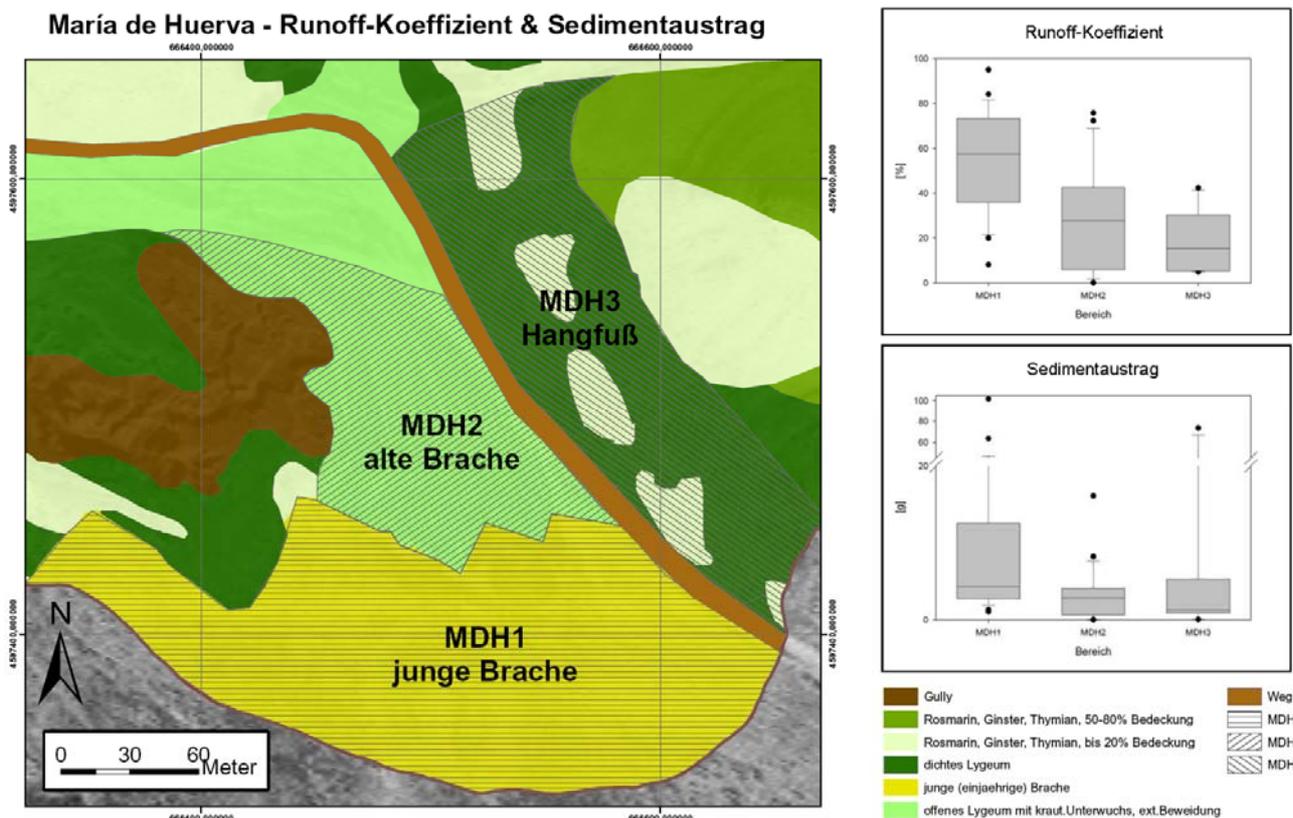


Abb. 4: Runoff-Koeffizienten und Sedimentaustträge für unterschiedliche Landnutzungseinheiten im Einzugsgebiet des Barranco de las Lenas (María de Huerva, Nordspanien).

- Im Gegensatz zur Einzugsgebietsgröße konnten für die experimentell ermittelten Raten von Runoff-Koeffizient und Sedimentausttrag klare Zusammenhänge mit der Gully-Entwicklung nachgewiesen werden (siehe Tab. 2). Die Regionalisierung dieser Werte erfolgt über die entsprechenden Landnutzungseinheiten und deren Nähe zu bzw. Anbindung an den Gully-Headcut. Sie kann am Beispiel des Einzugsgebiets María de Huerva (Barranco de la Lenas) aufgezeigt werden (Abb. 4): Die vergleichbar geringen Wachstumsraten von  $R_{\max}$  und  $R_{\text{mean}}$  ( $0,50$  und  $0,15 \text{ m a}^{-1}$ ) stimmen mit den nur mittel hohen Runoff-Koeffizienten der mit dem Headcut verbundenen Flächen MDH2 (29 %) und MDH3 (17 %) überein. Hingegen hat die Fläche mit der größten Oberflächenabflussspende MDH1 (55 %) keinen direkten Anschluss

an den aktiven Headcut. Die gemittelten Sedimentausträge spiegeln dieses Bild wider (MDH1: 13 g > MDH2: 3 g > MDH3: 2 g). Wichtig zu beachten ist, dass die alte Brachfläche eine sehr hohe standörtliche Variabilität beim Oberflächenabfluss aufweist und diese dem Headcut direkt zuliefernde Fläche somit je nach Oberflächenzustand höchst variabel reagiert. 65 Jahre nach der Auflassung kann sie im Max. bis 76% Oberflächenabfluss produzieren. Festzuhalten gilt die generelle Reihenfolge junge Brache – alte Brache – beweideter Hangfuß, sowohl beim Runoff-Koeffizienten als auch beim Sedimentaustrag.

### 2.3.2 Methodische Fortschritte

Über die in vorangegangenen Forschungsprojekten der Antragsteller eingesetzten Techniken des zweidimensionalen Luftbildmonitorings hinaus wurde in diesem Projekt die Methode erweitert, um die dreidimensionale Quantifizierung von Gully-Volumen und Austragsraten zu ermöglichen. Digitale Photogrammetriesysteme wie die hierzu eingesetzte Leica Photogrammetry Suite werden zunehmend auch in der geomorphologischen Forschung für die Auswertung großmaßstäbiger nicht-metrischer Digitalbilder eingesetzt – allerdings zum überwiegenden Anteil für terrestrische Nahbereichsaufnahmen. Die Anwendung großmaßstäbiger Luftbildphotogrammetrie beschränkt sich bisher auf küsten- oder fluvialmorphologische Studien oder Untersuchungen archäologischer Stätten, während Formen und Prozesse der Gully-Erosion wiederum bisher nur mittels klein- und mittelmaßstäbiger Standard-Luftbildaufnahmen photogrammetrisch untersucht wurden (siehe dazu Marzolff & Poesen, 2007 in prep.).

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurden im Wesentlichen zwei methodische Fortschritte beim 3D-Monitoring von Gullies erzielt: Der Einsatz kalibrierter digitaler Kleinbildkameras sowie die Optimierung von Parametern zur photogrammetrischen Auswertung der Stereobilder und die Entwicklung einer hybriden Methode für das dreidimensionale Modellieren und Monitoring der Gullies in hohen Genauigkeiten.

#### ***Digitale Kleinbildkamera für photogrammetrisches Monitoring***

Parallel zu den vorhandenen und in bisherigen Arbeiten eingesetzten analogen Spiegelreflexkameras kamen seit 2004 digitale Spiegelreflexkameras (Canon EOS 300D/350D) zum Einsatz. Sämtliche Kameras wurden in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Karlsruhe kalibriert, um höhere Eingangsgenauigkeiten der Inneren Orientierung bei der photogrammetrischen Rekonstruktion zu erreichen. Der gleichzeitige Einsatz analoger und digitaler Kameras in dem Doppelkamera-Aufhängungssystem des Heißluftzeppelins ermöglichte einen direkten Vergleich der Bilder. Die analogen Kleinbild-Diapositive wurden dafür mit 2900 dpi (entsprechend etwa der Filmauflösung) und 1800 dpi (resultierend in gleiche Pixelgröße am Boden wie das homologe Digitalkamerabild) gescannt. Zusammengefasst ergaben sich am Beispiel des Gully Negratín 3 (siehe Abb. Titelseite oben) folgende Resultate:

- Die Ergebnisse der Bündelblockausgleichung, bei der die geometrische Situation während des Aufnahmevorgangs mathematisch rekonstruiert wird, um im Folgenden die Bestimmung von 3D-Objektkoordinaten aus den Bildern zu ermöglichen, zeigen für die Digitalkamera um ca. den Faktor 1,5-3 bessere Werte (RMSE an den Passpunkten, RMSE an den Bildpunkten, Genauigkeit der Äußeren Orientierung). Der Hauptgrund dürfte in der erhöhten Stabilität des Bildchips gegenüber dem photographischen Film und dem Wegfall des zusätzlichen Ungenauigkeiten einführenden Scan-Prozesses liegen.
- Die Scan-Auflösung für die Digitalisierung der analogen Kleinbild-Diapositive beeinflusst die Messergebnisse in zunächst nicht erwarteter Weise: Höhere Auflösung (2900 dpi) gibt um ca. den Faktor 1,5-2 schlechtere Werte als niedrigere Auflösung (1800 dpi). Gleichzeitig ist die Anzahl und Qualität autokorrelierter Massenpunkte (durch *image matching* und Stereoautokorrelation aus dem photogrammetrischen Block berechnete Höhenpunkte für die automatisierte Generierung von DGMs) geringer (siehe Abb. 5). Dieser Effekt wird dadurch verursacht, dass die hohe, etwa der Filmauflösung entsprechende Scan-Auflösung die Körnung des Filmes erfasst, welche als Rauschsignal zu schlechteren Korrelationsergebnissen führt. Bei

der niedrigeren Auflösung von 1800 dpi wird dieses Rauschen durch den Mittelungseffekt unterdrückt.

- Die Digitalkamera ist für die automatisierte Extraktion von Massenpunkten der analogen Kamera nicht nur bezüglich der Anzahl, sondern auch der Verteilung der berechneten Punkte überlegen (siehe Abb. 6). Die Empfindlichkeit des CCD-Chips führt im Vergleich zum photographischen Film zu einer besseren Ausbelichtung von Schatten- und Lichtbereichen, so dass dort bessere Ergebnisse bei der Autokorrelation erzielt werden können. Im vorliegenden Beispiel zeigt sich dies besonders bei den stark verschatteten Bereichen an schrägen Gully-Wänden und der sehr hellen glatten Bodenoberfläche einer Fahrspur, deren Punktdichte-verhältnis für das digitale Bild sehr viel günstiger ausfällt als für die analogen Photographien.

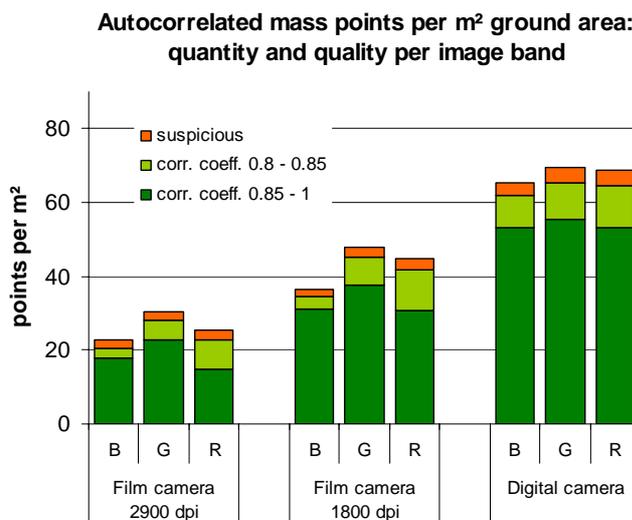


Abb. 5: Qualität und Anzahl autokorrelierter Massenpunkte je Bildtyp (Gully Negratín 3, 4/2004)

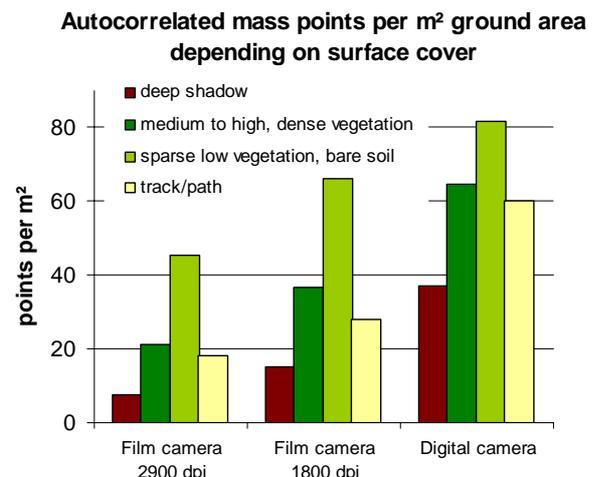


Abb. 6: Anzahl autokorrelierter Massenpunkte je Bodenbedeckung und Bildtyp (Gully Negratín 3, 4/2004)

- Über die qualitative Verbesserung durch den Nutzen von Digitalkameras hinaus hat sich die Ablösung der bis vor wenigen Jahren noch überlegenen analogen Kamera im Rahmen des Forschungsprojektes auch aus Kosten- und Praktikabilitätsgründen sehr bewährt: Außerordentlich vorteilhaft ist die Möglichkeit der unmittelbaren Beurteilung von Abdeckung, Belichtungsqualität, Maßstab etc. der Bilder schon im Gelände während einer Befliegungskampagne, die in eine deutlich höhere Anzahl von für die Stereoauswertung geeigneten Bildern führt.

### 3D-Auswertung der Gullies mit der digitalen Photogrammetriestation LPS

Die in LPS (wie auch anderen digitalen Photogrammetriesystemen) implementierten Methoden des Bündelblockausgleichs und der automatisierten Extraktion von digitalen Geländemodellen sind zunächst für die Auswertung von Standard-Luftbildern im mittel- bis kleinmaßstäbigen Bereich entwickelt. Sie eignen sich daher nicht ohne Adaption für die von uns verwendeten, sehr hochauflösenden großmaßstäbigen Luftbilder, die bedingt durch die steilwandigen Formen der Gullies lokal extreme Stereoparallaxen aufweisen können. Anhand der in diesem Projekt entstandenen Bilder konnte die Parametrisierung der Software für die Auswertung großmaßstäbiger nicht-metrischer Luftbildaufnahmen optimiert werden (v.a. Wachsmuth, 2005; Marzolff & Poesen, 2007 in prep.). Untersucht und in der Methodenoptimierung berücksichtigt wurden insbesondere die für Gully-Formen typischen Auswirkungen von Morphologie und Beleuchtungseffekten (siehe Abb. 7) mit dem Ziel einer Fehlerreduzierung und DGM-Qualitätssteigerung.

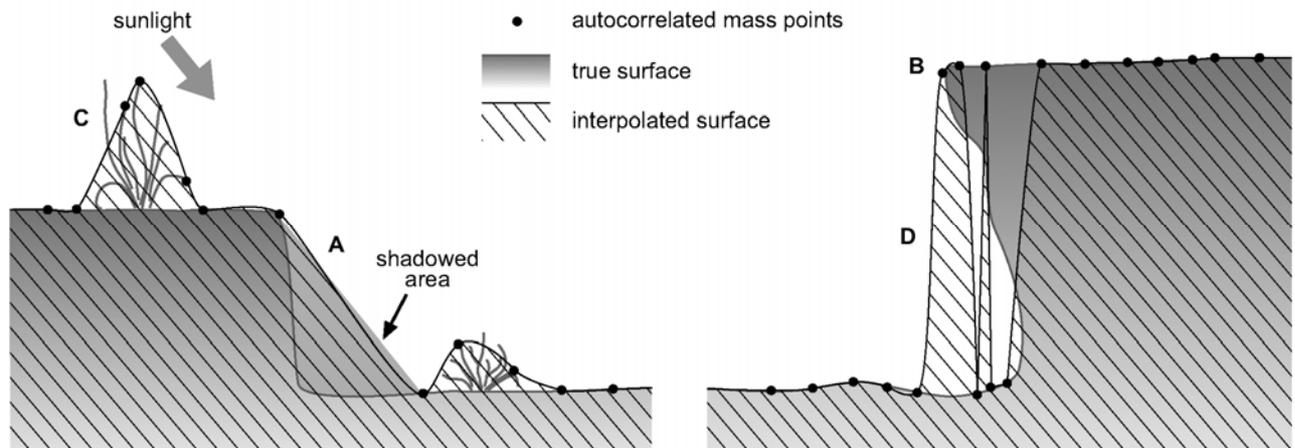


Abb. 7: Schematische Darstellung eines Gully-Profiles mit typischen, durch Morphologie und Beleuchtung bedingten Effekten auf die automatisierte Extraktion von Massenpunkten. A – Schattenbereiche; B – Gully-Rand; C – Vegetationsbedeckung; D – Gullywand-Überhang (vgl. Marzolff & Poesen, 2007 in prep.)

Es hat sich herausgestellt, dass eine vollständig automatisierte Generierung von Gully-Höhenmodellen aus diesen methodischen Gründen nicht möglich bzw. nicht sinnvoll ist und sich stattdessen eine hybride Methode empfiehlt, die es erlaubt, manuelle digitale Stereokartierung mit automatisierten photogrammetrischen Verfahren der Stereoautokorrelation zu kombinieren, um den komplexen Formen und hohen Reliefenergien der Gully-Systeme gerecht werden zu können. Die bei Marzolff & Poesen (2007 in prep.) vorgestellte Methode ermöglicht das dreidimensionale Modellieren und Monitoring der Gullies in hohen Genauigkeiten (DGM-Pixelgrößen 5-10 cm, Lagegenauigkeiten 2-3 cm, Höhengenaugigkeiten 2-5 cm) bei gleichzeitiger Differenzierung unterschiedlicher Bereiche der Aktivität am Gully-Headcut, den Gully-Wänden und dem Gully-Boden (siehe 2.3.1). Da sie jedoch mit recht beträchtlichem Aufwand verbunden ist, arbeiten wir nunmehr an einer vereinfachten Methode der Volumenquantifizierung durch Erzeugung simplifizierter Hohlkörperformen, welche sich auch ohne die Generierung detaillierter Höhenmodelle durchführen lassen soll. Problematisch bleibt die mit gängigen 2.5D-Rastermodellen, wie sie für Geländemodelle im GIS üblich sind, nicht erfassbare echte Dreidimensionalität z. B. der Überhangsbereiche sowie die Ungenauigkeiten in Volumenquantifizierungen durch Vegetationsbedeckung im Gully. Während letztere z. Zt. im Rahmen eines Methodenvergleichs gemeinsam mit Kollegen der Universität Pamplona am Beispiel nordspanischer Gullies näher untersucht werden (Marzolff et al., 2007), soll ersteres in einem zukünftigen Forschungsvorhaben (RI 835/4-1 / MA-2549/2-1, derzeit in Beantragung) durch Kombination von Luftbild- mit terrestrischen Aufnahmen in Angriff genommen werden.

Im Rahmen des Einsatzes der experimentellen Methoden zur Erfassung der standörtlichen Oberflächenabflusspende und der Sedimentaustragsrate wurde das Niederschlagsverteilungsspektrum auf dem Messplot, die Tropfengrößenverteilung und die Tropfenfallgeschwindigkeit der verwandten Beregnungsanlage mit unterschiedlichen Messmethoden untersucht (Ries et al., 2008 in prep.). Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das Niederschlagsverteilungsspektrum der bisher von uns verwandten HARDI-Düsen ist auf dem Testplot nicht einheitlich (Schwankungsbereich zwischen 1 und 18 ml pro 5 min.) und variiert nach Reinigung der Düse auch in seiner räumlichen Anordnung. In Absprache mit verschiedenen anderen Forschungsgruppen (Universität Basel, Leuven, Gent) auf ihre diesbezüglichen Eigenschaften getestet. Aller Voraussicht nach werden wir zukünftig Düsen der Firma LECHLER einsetzen.
- Die Tropfengrößenverteilung unserer Anlage ähnelt der natürlichen Tropfengrößenverteilung. Die von uns zum Einsatz gebrachten Validierungsverfahren für die Tropfengrößenverteilung (Plaster Micro Plot-Methode, Indication Paper-Methode, Joss-Waldvogel-Distrometer, Laser-Distrometer) erbrachten jedoch sehr unterschiedliche Ergebnisse: Nur das Laser-Distrometer und Plaster Micro Plot-Methode können das gesamte Spektrum, insbesondere die mittel-

großen und großen Tropfen erfassen. Die Indication Paper-Methode und das Joss-Waldvogel-Distrometer zeigen dagegen vor allem sehr kleine und mittel-kleine Tropfen an; gegenüber der Plaster Micro Plot-Methode und dem Laser-Distrometer sind mittlere bis große Tropfen deutlich überrepräsentiert. Mit Blick auf die Marshall-Palmer-Verteilung macht daher nur eine Kombination der beiden Distrometer-Methoden Sinn.

- Wir gehen davon aus, dass die überproportionale Erfassung der sehr kleinen Tropfen bei der Indication Paper-Methode und dem Joss-Waldvogel-Distrometer auf die überhöhte Fallgeschwindigkeit durch den Düseneffekt des HARDI-Großtropfenvorsatzes zurückzuführen ist. Aus demselben Grund werden die sehr kleinen Tropfen vom Laser-Distrometer nicht als Regen erkannt. Bezüglich der Fallgeschwindigkeiten mit dem uns bislang verwandten HARDI-Düsentyp gilt: Die kleinen und sehr kleine Tropfen sind im Vergleich zum natürlichen Regen zu schnell und die mittleren und großen Tropfen zu langsam.
- Aus diesen Untersuchungen folgt, dass bei der Publikation von Niederschlags-simulationsergebnissen neben dem Düsentyp auch immer die Messmethode der Tropfen-größenverteilung angegeben werden sollte.

## 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 die hohen Gully-Wachstumsraten und die großen aus den Gullies mobilisierten Sedimentmengen. Dies hat Konsequenzen für die Erosionsschutzkonzepte in den Einzugsgebieten. Dabei kommt der Reduktion von Oberflächenabfluss und der Anbindung bzw. Ableitung von Flächen mit hoher Oberflächenabflussspende größte Bedeutung für das Gully-Wachstum zu.

## 2.5 Beitragende Kooperationspartner

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

Wiss. Mitarbeiter: Wiss. Ass. Dr. Manuel Seeger, Dr. Tilmann Sauer,

Doktoranden: Dipl.-Geogr. Wolfgang Fister, Dipl.-Umweltwiss. Thomas Iserloh, Dipl.-Geogr. Stefan Wirtz

Studentische Hilfskräfte: Annette Bickelmann, Sebastian Busch, Verena Butzen, Jens Caron, Inga Dirks, Bastienne Engels, Christian Geißler, Anna Kalisch, Stephanie Kessler, Nadine Lux, Marie Roche, Stefan Rock, Valeska Soltau, Simon Stumpf, Annika Wachsmuth, Christiane Willmann.

Befruchtet wurde das Projekt durch Diskussionen mit anderen Geomorpholog(inn)en über die Befunde und Arbeiten im Gelände in Nordspanien (Prof. Dr. Maite Echeverría Arnedo und Prof. Dr. Juan de la Riva vom Departamento de Geografía Física der Universidad de Zaragoza), in Südspanien (Prof. Dr. Jean Poesen vom Laboratorium voor Experimentele Geomorfologie an der Katholischen Universität Leuven/Belgien und in Marokko (Prof. Dr. Ali Aït Hssaïne vom Département de Géographie der Université Ibn Zohr, Agadir). Ihre jeweiligen Kenntnisse aus eigenen Forschungsarbeiten vor Ort haben wesentlich zur Auswahl von Untersuchungsstandorten, zu den Einschätzungen der spezifischen Gegebenheiten vor Ort und zur Interpretation der Ergebnisse beigetragen.

Die gemeinsamen Forschungsinteressen mit Prof. Aït Hssaïne und die Ergänzenbarkeit der Methoden und Kenntnisse zu Bodendegradation und Gully-Erosion haben mittlerweile zu einem gemeinsamen Projektantrag für ein Kooperationsprojekt in der Souss-Ebene geführt (RI 835/4-1 / MA-2549/2-1).

Mit Prof. Poesen wird im März 2008 eine gemeinsame Geländebegehung in der Untersuchungsregion Guadalentín (Südspanien) stattfinden zwecks Verfassung eines Artikels über die dort vorgenommenen Forschungsarbeiten (siehe Publikationsliste) und Diskussion der Fortsetzungsmöglichkeiten des dort nunmehr 9-jährigen Monitorings.

Über die Arbeiten im Ebrobecken entstand im Rahmen des MoGul-Projektes Kontakt zur Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Javier Casalí Sarasibar vom Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural der Universidad Pública de Navarra, Pamplona. Ein gemeinsames Forschungsvorhaben zum Monitoring von Gullies und Erosionsrinnen unter dem Aspekt des Methodenvergleichs (3D-Gully-Geländedarstellung auf der Basis großmaßstäbiger Luftbilder *versus* terrestrische konventionelle Vermessungstechnik *versus* Vermessung mit dem Laserscanner) wurde mittlerweile in den Bardenas Reales (Navarra/Nordspanien) begonnen (Marzolff et al., 2007). Auf der Basis der im vorliegenden Projekt gemachten Erfahrungen konnten zeitnah mit zwei kurzen Geländeaufenthalten im März und Oktober 2007 Bilddaten erstellt, verarbeitet und die Resultate mit den zu vergleichenden Verfahren kombiniert werden. Die ersten Ergebnisse lassen bereits heute den Schluss zu, dass die Daten des großmaßstäbigen Luftbildmonitorings in seiner im vorliegenden Projekt entwickelten Präzision die besten Resultate erbringen.

## 2.6 Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses im Zusammenhang mit dem Projekt

Im Rahmen von Ri 835/2-1 wurden 12 Diplomarbeiten erstellt. Zwei Kandidaten sind zwischenzeitlich mit der Abfassung ihrer Dissertationsschrift beschäftigt.

**Busch, S.** (2004): Oberflächenabfluss und Bodenabtrag im semiariden Spanien – Niederschlagssimulationen und Infiltrationsmessungen zur Erfassung der Bodenerosionsgefährdung. Unveröff. Diplomarbeit Universität Trier, FB VI – Geographie/Geowissenschaften, Trier.

**Caron, Jens** (2006): Luft- und satellitenbildgestütztes Gully-Monitoring – Möglichkeiten und Grenzen verschiedener Aufnahmesysteme. Unveröff. Diplomarbeit Universität Trier, FB VI – Geographie/Geowissenschaften, Trier.

**Dirks, I.** (2005): Einfluss der geomorphologischen Prozesse auf die Vegetationssukzession im Inneren Ebrobecken/Spanien. Unveröff. Diplomarbeit Universität Trier, FB VI – Geographie/Geowissenschaften, Trier.

**Essler, B.** (2007): Erfassung der Bodenfeuchtedynamik im Oberboden mit Kleinstlysimetern. Unveröff. Diplomarbeit Universität Trier, FB VI – Geographie/Geowissenschaften, Trier.

**Geißler, Ch.** (2007): Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik in Gully-Einzugsgebieten im semi-ariden Spanien. Unveröff. Diplomarbeit Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Physische Geographie, Frankfurt am Main.

**Iserloh, T.** (2007) Niederschlagssimulation in Aragón und Andalusien; Untersuchungen zur Oberflächenabflussgenerierung und zum Bodenabtrag in Gullyeinzugsgebieten. Unveröff. Diplomarbeit Universität Trier, FB VI – Geographie/Geowissenschaften, Trier.

**Lux, N.** (2007): Geographie im Web-Film, Wissenschaftsdokumentation im Vergleich zu Wissenschaftsjournalismus. Unveröff. Diplomarbeit Universität Trier, FB VI – Geographie/Geowissenschaften, Trier.

**Soltau, V.** (2008 in prep.): Auswertung von Luftbildzeitreihen für die Bestimmungen der Gully-Entwicklung in Nordost- und Südostspanien. Unveröff. Diplomarbeit Universität Trier, FB VI – Geographie/Geowissenschaften, Trier.

**Stumpf, S.** (2007): Sozio-ökonomische Auswirkungen der Gully-Erosion in der Souss-Ebene (SW-Marokko). Unveröff. Diplomarbeit Universität Trier, FB VI – Geographie/Geowissenschaften, Trier.

**Wachsmuth, A.** (2005): Gully-Monitoring im Sahel Burkina Faso: Methodische Aspekte der großmaßstäbigen Luftbildauswertung. Unveröff. Diplomarbeit Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Physische Geographie, Frankfurt am Main.

**Wirtz, St.** (2007): Spülversuche als experimentelle Methode zur Rinnenerosionsforschung. Unveröff. Diplomarbeit Universität Trier, FB VI – Geographie/Geowissenschaften, Trier.

**Wistorf, St.** (2007): Niederschlagssimulationen zur Erfassung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag – Methoden zur Bestimmung des Tropfenspektrums der mobilen Kleinberegnungsanlage. Unveröff. Diplomarbeit Universität Trier, FB VI – Geographie/Geowissenschaften, Trier.

#### **Dissertationen in prep.**

**Iserloh, Thomas:** Niederschlagssimulationen – Ansätze zur Lösung methodischer Probleme bei Tropfengrößenspektren und -fallgeschwindigkeiten.

**Wirtz, Stefan:** Experimentelle Methoden zur Rinnenerosionsforschung – Möglichkeiten und Grenzen von Spülversuchen im Gelände.

### 3. Zusammenfassung

In Ri 835/ 2-1 konnte die Bedeutung von Gullies als größte lineare Erosionsformen bestätigt werden. Das Gully-Wachstum und die mobilisierten Sedimentmengen weisen in den Untersuchungsgebieten entlang des Untersuchungstransektes vom mediterran semiariden Nordostspanien über das mediterran subhumide Südspanien und rand-saharische aride Südmarokko bis zum tropisch-wechselfeuchten semiariden Burkina Faso große Unterschiede auf. Die Analyse der *maximum linear retreat rate* ( $R_{\max}$ ) und der *mean linear retreat rate* ( $R_{\text{mean}}$ ) erbrachte Differenzen um Größenordnungen.  $R_{\max}$  variiert im Gesamtuntersuchungsraum mit Werten zwischen unter  $10 \text{ cm a}^{-1}$  bis fast  $10 \text{ m a}^{-1}$  um den Faktor 100,  $R_{\text{mean}}$  mit Werten zwischen  $0,02$  und  $1,28 \text{ cm a}^{-1}$  um den Faktor 65. Innerhalb der Untersuchungsregionen schwanken dagegen  $R_{\max}$ , und  $R_{\text{mean}}$  maximal nur um Faktor 10. Die bei weitem höchsten Headcut-Erosionsraten können im semiariden Sahel beobachtet werden ( $R_{\max} 3,16\text{-}9,85 \text{ m a}^{-1}$  bzw.  $R_{\text{mean}} 0,18\text{-}1,28 \text{ m a}^{-1}$ ). Während eine Abhängigkeit von der Größe des Einzugsgebietes nicht zu erkennen ist, lassen sich klare Zusammenhänge (gleiche Rangfolge) zwischen  $R_{\text{mean}}$  bzw.  $R_{\max}$  mit min. und max. Oberflächenabflussspende bzw. max. Sedimentaustragsrate nachweisen. Ebenso lässt sich ein Zusammenhang zwischen der räumlichen Verteilung des Gully-Wachstums und den experimentell bestimmten Abflussprozessen nachweisen. Die geomorphologische Kartierung zeigt Piping-Prozesse und die Anbindung von Flächen mit hoher Oberflächenabflussspende neben mikrotopographischen Strukturen (Bodenverkrustungen, Rillen, Wege, Terrassenkanten, Dämme) als die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Gully-Headcut-Retreat. Teileinzugsgebiete, die in Abhängigkeit der Landnutzung stark in ihrer Größe variieren, sind zu beachten. Bei der Formenentwicklung zeigen einige Gullies eine zwischenzeitliche Verbreiterung, welche deutlich höhere Sedimentausträge bewirkt als die eigentliche rückschreitende Erosion am Headcut.

Methodisch gelang es, über die reine Quantifizierung flächenhafter und volumetrischer Veränderungsdaten aus den selbsterstellten großmaßstäbigen Luftbildern hochauflösende Gully-Höhenmodelle und daraus 3D-Veränderungskarten zu erstellen, welche das Gesamtvolumen und den Volumenzuwachs der Gullies räumlich differenzieren und visualisieren. Dabei wird auch die kurzzeitige Akkumulation von erodiertem Material am Gully-Boden sichtbar. Für das photogrammetrische Monitoring weist die verwandte Digitalkamera um den Faktor 1,5-3 bessere Werte (RMSE an den Passpunkten, RMSE an den Bildpunkten, Genauigkeit der Äußeren Orientierung) gegenüber den in früheren Projekten verwendeten analogen Kleinbildkameras auf. Dies liegt an der hohen Stabilität des Bildchips und dem Wegfall zusätzlicher Ungenauigkeiten durch den Scan-Prozess. Bei der Digitalisierung der analogen Kleinbild-Diapositive geben höhere Auflösungen (2900 dpi) um den Faktor 1,5-2 schlechtere Werte als niedrigere Auflösungen (1800 dpi), weil eine der Filmauflösung nahekommende Scan-Auflösung die Körnung des Filmes erfasst und dies als Rauschsignal zu schlechteren Korrelationsergebnissen führt. Bei der niedrigeren Auflösung von 1800 dpi wird dieses Rauschen durch den Mittelungseffekt unterdrückt. Die untersuchte Digitalkamera ist für die automatisierte Extraktion von Massenpunkten der analogen Kamera nicht nur bezüglich der Anzahl, sondern auch der Verteilung der berechneten Punkte überlegen. Die Empfindlichkeit des CCD-Chips führt im Vergleich zum photographischen Film zu einer ausgeglichenen Belichtung von Schatten- und Lichtbereichen, so dass dort bessere Ergebnisse bei der Autokorrelation erzielt werden können.

Digitale Photogrammetriesysteme wie die Leica Photogrammetry Suite eignen sich nicht ohne Adaption für sehr hochauflösende großmaßstäbige Luftbilder, die bedingt durch die steilwandigen Formen der Gullies lokal extreme Stereoparallaxen aufweisen können. Anhand der entstandenen Bilder konnte die Parametrisierung der Software für die Auswertung großmaßstäbiger nicht-metrischer Luftbilddaten optimiert werden. Um den komplexen Formen und hohen Reliefenergien der Gully-Systeme gerecht zu werden, empfiehlt sich für die Generierung von Gully-Höhenmodellen eine hybride Methode, die manuelle digitale Stereokartierung mit automatisierten photogrammetrischen Verfahren der Stereoautokorrelation kombiniert. Problematisch bleiben die mit gängigen 2.5D-Rastermodellen, wie sie für Geländemodelle im GIS üblich sind, nicht erfassbare echte Dreidimensionalität z. B. der Überhangsbereiche sowie die Ungenauigkeiten in Volumenquantifizierungen durch Vegetationsbedeckung im Gully.

Mit den erzielten methodischen Verbesserungen kann das Gully-Wachstum räumlich und zeitlich exakt erfasst und der Prozess der Gully-Entwicklung besser verstanden werden.

### **Im Projektzusammenhang stehende Berichte in den Publikumsmedien**

05.10.2005: Deutschlandfunkinterview mit Irene Marzolff zum Thema Bodenerosion in Spanien (Sendung „Umwelt und Verbraucher“)

<http://www.dradio.de/dlf/sendungen/umwelt/425841/>

07.06.2006: Irene Marzolff als Studiogast im Hessischen Rundfunk (Fernsehen) zum Thema Desertifikation (Sendung „alle Wetter!“)

Internetseiten der Universität Trier ([http://www\\_neu.uni-trier.de/index.php?id=11070](http://www_neu.uni-trier.de/index.php?id=11070)):

GeoWebfilme zum Forschungsprojekt "Großmaßstäbiges Gully-Monitoring in semiariden Landschaften (MoGul)" von Nadine Lux; Themen:

- Das Forschungsprojekt MoGul (Einführender Projektfilm)
- Luftbildmonitoring: Aufnahmen
- Luftbildmonitoring: Auswertung
- Experimentelles Messprogramm: Wassererosion
- Experimentelles Messprogramm: Winderosion
- Experimentelles Messprogramm: Windkanal