

Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main
Fachbereich 11: Geowissenschaften/Geographie
Institut für Physische Geographie

Diplomarbeit

**Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle
Geomorphodynamik in *gully*-Einzugsgebieten im
semi-ariden Spanien**

von

Christian Geißler

November 2007

Gutachter:
Prof. Dr. Jürgen Wunderlich
Dr. Irene Marzolf

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all denen danken, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt vor allem Frau Dr. Marzolff und Herrn Prof. Dr. Ries, die bei mir das Interesse für das Projekt MoGul und seine Fragestellungen geweckt haben und mir immer mit fachlichem Rat zur Seite standen.

Weitere Unterstützung sowie fachlichen Rat fand ich außerdem bei Tilmann Sauer, Wolfgang Fister und Thomas Iserloh, denen ich auch für die Durchsicht der Arbeit danke.

Mein Dank gilt weiterhin Herrn Prof. Dr. Wunderlich und Frau Dr. Marzolff für die Funktion als Betreuer dieser Arbeit.

Dank gilt weiterhin den Studenten des Projektseminars 2006 der Universität Trier sowie Valeska Soltau, Annette Bickelmann, Tilmann Sauer und Wolfgang Fister, die durch ihre Mitarbeit wesentlich zum Gelingen der Kartierungen beigetragen haben sowie Andreas Rock, der die Sedimentproben analysiert hat.

Besonderer Dank gilt meiner Freundin Susanne, die durch ihre vielfache Unterstützung und ihr beruhigendes Einwirken wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

Herzlich danken möchte ich auch meiner Mutter und meinem Onkel, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Inhaltsverzeichnis	ii
Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	viii
Fotoverzeichnis	x
Kastenverzeichnis	xii
Abkürzungsverzeichnis	xiii
1 Einführung	1
1.1 Rahmen der Arbeit	1
1.2 Fragestellung/Methoden des DFG-Projektes „MoGul“	1
1.3 Gegenstand und Ziele der Arbeit	2
1.4 Aufbau der Arbeit	3
2 Aspekte der Bodenerosion im semi-ariden Spanien	5
2.1 Klimatische Bedingungen im Mittelmeerraum	5
2.1.1 Das thermische Klima	5
2.1.2 Das hygrische Klima	6
2.2 Bodenerosion durch Wasser	6
2.2.1 Ablösung und Transport von Bodenteilchen	6
2.2.2 Formen der Bodenerosion durch Wasser	8
2.3 <i>Gully</i> -Erosion	9
2.3.1 Begriffsbestimmung	9
2.3.2 Prozesse der <i>gully</i> -Bildung	9
2.3.3 Prozesse der <i>gully</i> -Erweiterung	11
2.4 Landbedeckung im semi-ariden Spanien	13
2.4.1 Vegetation	13
2.4.2 Landnutzung	15
2.5 Landbedeckung und Bodenerosion	16
2.5.1 Vegetation	16
2.5.2 Landwirtschaft	19
3 Untersuchungsgebiete	20
3.1 Nordspanien	20

3.1.1	Standort María de Huerva	23
3.1.2	Standort Barranco Rojo	25
3.2	Südspanien	27
3.2.1	Standort Freila	31
3.2.2	Standort Negratín	33
3.2.3	Standort Casablanca	33
3.2.4	Standort Salada/Luchena	35
3.3	Entwicklung der <i>gullies</i>	37
4	Material und Methoden	39
4.1	Datengrundlagen	39
4.2	Aufnahmen im Gelände	39
4.2.1	Einmessung der Einzugsgebiete	39
4.2.2	Kartierung der Landbedeckung	40
4.2.3	Kartierung der aktuellen Geomorphodynamik und Oberflächenformen	43
4.2.4	Bodenproben	45
4.3	Auswertung	45
4.3.1	Labormethoden	45
4.3.2	Verschlämmungsneigung	46
4.3.3	Digitalisierung der Kartierung und Verschneidung der Layer in ArcMap	46
5	Ergebnisse I: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik in den Einzugsgebieten	48
5.1	<i>Gully</i> María de Huerva	49
5.1.1	Landbedeckung	50
5.1.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	51
5.1.3	Substrate	51
5.1.4	Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort María de Huerva	52
5.2	Barranco Rojo	56
5.2.1	Landbedeckung	57
5.2.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	57
5.2.3	Substrate	59
5.2.4	Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Barranco Rojo	59
5.3	<i>Gully</i> Freila-A	62
5.3.1	Landbedeckung	63

5.3.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	63
5.3.3	Substrate	63
5.3.4	Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Freila-A	64
5.4	<i>Gully</i> Freila-B	67
5.4.1	Landbedeckung	68
5.4.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	68
5.4.3	Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Freila-B	68
5.5	<i>Gully</i> Negratín 1	70
5.5.1	Landbedeckung	71
5.5.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	71
5.5.3	Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Negratín 1	72
5.6	<i>Gully</i> Negratín 3	73
5.6.1	Landbedeckung	74
5.6.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	74
5.6.3	Substrate	75
5.6.4	Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Negratín 3	75
5.7	<i>Gully</i> Casablanca	77
5.7.1	Landbedeckung	78
5.7.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	78
5.7.3	Substrate	79
5.7.4	Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Casablanca	79
5.8	<i>Gully</i> Salada 1	81
5.8.1	Landbedeckung	82
5.8.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	82
5.8.3	Substrate	83
5.8.4	Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 1	84
5.9	<i>Gully</i> Salada 3	87
5.9.1	Landbedeckung	88
5.9.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	88
5.9.4	Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 3	89
5.10	<i>Gully</i> Salada 4	91
5.10.1	Landbedeckung	92

5.10.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	92
5.10.3	Substrate	93
5.10.4	Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 4	93
5.11	<i>Gully</i> Luchena	96
5.11.1	Landbedeckung	96
5.11.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	97
5.11.3	Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Luchena	97
5.12	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	99
6	Ergebnisse II: Aktuelle Geomorphodynamik auf den Landbedeckungsklassen	104
6.1	Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung (ZS20)	104
6.2	Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung (ZS50)	105
6.3	Zwergsträucher 50 bis 80% Bedeckung (ZS80)	107
6.4	Horstgräser – offen (HGO)	107
6.5	Horstgräser – dicht (HGD)	109
6.6	Ackerland – Trockenfeldbau (AT)/Ackerland – Dauerkultur (AD)	110
6.7	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	111
7	Methodenbewertung	113
7.1	Kartierung	113
7.1.1	Landbedeckung	113
7.1.2	Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen	113
7.2	Verschneidung der Layer in ArcMap	114
7.3	Fazit	114
8	Schlussbetrachtung und Ausblick	116
9	Quellenverzeichnis	119

Anhang

Anhang 1: Sedimentanalysen

Anhang 2: Karten

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Charakteristische Merkmale eines aktiven <i>gully-headcuts</i>	12
Abb. 2.2	Verbreitung von Zwergsträuchern im mediterranen Raum	14
Abb. 2.3	Degradation und Regeneration mediterraner Vegetation unter anthropo- zoogenem Einfluss	15
Abb. 2.4	Die Beziehung zwischen Vegetationsbedeckung und Oberflächenabfluss	17
Abb. 2.5	Die Beziehung zwischen Vegetationsbedeckung und Sedimentaustrag	17
Abb. 3.1	Untersuchungsgebiete	20
Abb. 3.2	Prozentuale Verteilung der Landbedeckung in der Provinz Zaragoza 2005	22
Abb. 3.3	Flächenzunahme des <i>headcuts</i> am <i>gully</i> María de Huerva im Beobachtungszeitraum 1995-2006	24
Abb. 3.4	Flächenzunahme des <i>headcuts</i> am <i>gully</i> Barranco Rojo im Beobachtungszeitraum 2002-2006	26
Abb. 3.5	Prozentuale Verteilung der Landbedeckung in der Provinz Granada 2005	29
Abb. 3.6	Prozentuale Verteilung der Landbedeckung in der Provinz Lorca 2005	30
Abb. 3.7	Flächenzunahme des Seiten- <i>headcuts</i> am <i>gully</i> Freila A im Beobachtungszeitraum 2002-2006	33
Abb. 3.8	Flächenzunahme des <i>headcuts</i> am <i>gully</i> Freila B im Beobachtungszeitraum 2002-2006	33
Abb. 3.9	Flächenzunahme des <i>gullies</i> Casablanca im Beobachtungszeitraum 2002-2006 ..	34
Abb. 3.10	Flächenzunahme des <i>headcuts</i> am <i>gully</i> Salada 1 im Beobachtungszeitraum 1998-2006	35
Abb. 3.11	Flächenabnahme des <i>headcuts</i> am <i>gully</i> Salada 1 im Beobachtungszeitraum 1998-2006	35
Abb. 3.12	Flächenzunahme des <i>headcuts</i> am <i>gully</i> Salada 3 im Beobachtungszeitraum 1998-2006	36
Abb. 3.13	Flächenzunahme des <i>headcuts</i> am <i>gully</i> Luchena im Beobachtungszeitraum 1998-2006	37
Abb. 4.1	Schematische Darstellung der <i>intersect</i> -Funktion in ArcMap	47
Abb. 5.1	Vergleich der Einzugsgebiets-Größen	48
Abb. 5.2	Teilbereiche des Einzugsgebietes von María de Huerva	49
Abb. 5.3	Karte des Einzugsgebietes von María de Huerva	49
Abb. 5.4	Flächenverteilung im Einzugsgebiet von María de Huerva	50
Abb. 5.5	Ausschnitt aus der geomorphodynamischen Karte des Einzugsgebietes am <i>gully</i> María de Huerva	53
Abb. 5.6	Teilbereiche des Einzugsgebietes von Barranco Rojo	56
Abb. 5.7	Karte des Einzugsgebietes von Barranco Rojo	56
Abb. 5.8	Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Barranco Rojo	57
Abb. 5.9	Karte des Einzugsgebietes von Freila-A	62

Abb. 5.10	Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Freila-A	62
Abb. 5.11	Karte des Einzugsgebietes von Freila-B	67
Abb. 5.12	Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Freila-B	67
Abb. 5.13	Karte des Einzugsgebietes von Negratín 1	70
Abb. 5.14	Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Negratín 1	70
Abb. 5.15	Karte des Einzugsgebietes von Negratín 3	73
Abb. 5.16	Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Negratín 3	73
Abb. 5.17	Teilbereiche im Einzugsgebiet von Casablanca	77
Abb. 5.18	Karte des Einzugsgebietes von Casablaca	77
Abb. 5.19	Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Casablanca	77
Abb. 5.20	Karte des Einzugsgebietes von Salada 1	81
Abb. 5.21	Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Salada 1	82
Abb. 5.22	Karte des Einzugsgebietes von Salada 3	87
Abb. 5.23	Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Salada 3	87
Abb. 5.24	Karte des Einzugsgebietes von Salada 4	91
Abb. 5.25	Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Salada 4	91
Abb. 5.26	Karte des Einzugsgebietes von Luchena	96
Abb. 5.27	Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Luchena	96
Abb. 6.1	Zusammenhang zwischen kartierter Rillenspülung und den Bedeckungsklassen der Zwergsträucher	111

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1	Anteile der Nutzungsformen an der landwirtschaftlichen Fläche in der Provinz Zaragoza in ha	22
Tab. 3.2	Anteile der Nutzungsformen an der landwirtschaftlichen Fläche in der Provinz Granada in ha	30
Tab. 3.3	Anteile der Nutzungsformen an der landwirtschaftlichen Fläche in der Provinz Lorca in ha	31
Tab. 3.4	MoGul-gullies nach durchschnittlichem jährlichen Zuwachs der Fläche am <i>headcut</i>	38
Tab. 4.1	Klassen der Vegetation in den Einzugsgebieten	40
Tab. 4.2	Klassen der landwirtschaftlich genutzten Bereiche	41
Tab. 4.3	Sonstige Bedeckungsklassen in den Einzugsgebieten	42
Tab. 4.4	Verwendete Signaturen für aktuelle Geomorphodynamik	43
Tab. 4.5	Verwendete Signaturen für Tiefenlinien	44
Tab. 4.6	Verwendete Signaturen für Kleinformen und Rauheit	44
Tab. 4.7	Verwendete Signaturen für Stufen und Kanten	45
Tab. 4.8	Beispiel für die Verschneidung von Layern in ArcMap	47
Tab. 5.1	Einzugsgebiets- und <i>gully</i> -größen nach Größe des Einzugsgebietes	48
Tab. 5.2	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für María de Huerva inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC)	52
Tab. 5.3	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für Barranco Rojo inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC)	59
Tab. 5.4	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für den Standort Freila-A inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC)	64
Tab. 5.5	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für den Standort Negratín 3 inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC)	75
Tab. 5.6	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für den Standort Casablanca inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC)	79
Tab. 5.7	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für den Standort Salada 1 inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC)	84
Tab. 5.8	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für den Standort Salada 4 inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC)	93
Tab. 5.9	Flächenzunahme der <i>gullies</i> und dominierende Landbedeckungsklassen im Einzugsgebiet	100
Tab. 6.1	Verschneidung der Klasse „Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung“ mit der aktuellen Geomorphodynamik	105
Tab. 6.2	Verschneidung der Klasse „Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung“ mit der aktuellen Geomorphodynamik	106
Tab. 6.3	Verschneidung der Klasse „Zwergsträucher 50 bis 80% Bedeckung“ mit der aktuellen Geomorphodynamik	107

Tab. 6.4	Verschneidung der Klasse „Horstgräser – offen“ mit der aktuellen Geomorphodynamik	108
Tab. 6.5	Verschneidung der Klasse „Horstgräser – dicht“ mit der aktuellen Geomorphodynamik	109
Tab. 6.6	Verschneidung der Klasse „Ackerland – Trockenfeldbau“ bzw. „Ackerland – Dauerkultur“ mit der aktuellen Geomorphodynamik	110
Tab. 6.7	Rillenspülung nach Bedeckungsgrad der Zwergstrauchklassen sortiert	111

Fotoverzeichnis

Foto 3.1	Blick aus dem Einzugsgebiet von <i>gully</i> María de Huerva in das quer zur Blickrichtung verlaufende Lenas-Tal	24
Foto 3.2	Blick in den oberen Teil des Einzugsgebiets des Barranco Rojo	25
Foto 3.3	Blick vom Ausliegerberg in das von Landwirtschaft geprägte Huervatal	26
Foto 3.4	Der Wechsel unterschiedlich dichter Zwergstrauchbestände und einzelner Horstgrasflächen ist charakteristisch für die <i>badland</i> -artige Umgebung am Standort Freila	32
Foto 3.5	Im Bildhintergrund bilden die flachlagernden kambrischen Gesteine eine Hochfläche, von der sich unterschiedlich geneigte Flächen zur Rambla Casablanca hinunterziehen	34
Foto 3.6	Mandelhain im Einzugsgebiet von Salada 1	36
Foto 4.1	Unterschiedliche Bedeckungsgrade an einem mit Zwergsträuchern bedeckten Hang in Nordspanien	40
Foto 4.2	Offene Horstgrasvegetation	41
Foto 4.3	Dichte Horstgrasvegetation	41
Foto 4.4	Dauerkultur (Mandeln, Oliven) an der Rambla Salada	42
Foto 5.1	Der <i>headcut</i> des <i>gullies</i> María de Huerva	49
Foto 5.2	Rillenspülung auf dem unbefestigten Weg nordöstlich des <i>headcuts</i>	54
Foto 5.3	Sedimentation von erodiertem Bodenmaterial mit Fließspuren nordöstlich des <i>headcuts</i>	54
Foto 5.4	Luftbild des Barranco Rojo	56
Foto 5.5	<i>Piping</i> -Prozesse an Terrassenkanten und am <i>headcut</i> des Barranco Rojo	58
Foto 5.6	Eingebrochene <i>piping</i> -Röhre auf einer Terrassen südlich des <i>headcuts</i> ..	58
Foto 5.7	Starke Sedimentation im <i>headcut</i> -nahen, unteren Teil einer Ackerfläche nach einem Niederschlagsereignis bei einer Geländebegehung im Herbst 2006	60
Foto 5.8	Luftbild des <i>gullies</i> Freila-A	62
Foto 5.9	Standort Freila: Blick in Richtung Nordnordost	65
Foto 5.10	Luftbild des <i>gullies</i> Freila-B	67
Foto 5.11	Der <i>gully</i> Negratín 1	70
Foto 5.12	Geschlossene Steinbedeckung auf der Fläche Horstgräser – dicht etwa 5 m vom <i>gully</i> entfernt	71
Foto 5.13	Der <i>gully</i> Negratín 3	73
Foto 5.14	Verspülte Steine und Vegetation auf kleinen Wuchshügeln sind das Ergebnis starker Abtragungsprozesse	74
Foto 5.15	Der <i>gully</i> Casablanca	77
Foto 5.16	Die dichte, bodennahe Bedeckung mit <i>Vulpia bromoides</i> schützt den Boden vor der Wirkung des <i>splash</i> -Effektes	78
Foto 5.17	Der <i>headcut</i> des <i>gullies</i> Salada 1	81

Foto 5.18	Sedimentation vor einer Terrassenkante der Haupttiefenlinie im Einzugsgebiet von Salada 1	83
Foto 5.19	Durchbruch an einer Terrassenkante im Einzugsgebiet von Salada 1	83
Foto 5.20	Sackung an einer Terrassenkante im Einzugsgebiet von Salada 1	84
Foto 5.21	Rillenspülung im Mandelhain von Salada 1 bei einer Geländebegehung 2004	85
Foto 5.22	Der <i>gully</i> Salada 3	87
Foto 5.23	Stark verschlammte, vegetationsfreie Bereiche zwischen einzelnen Zwergsträuchern auf der Klasse ZS20 wenige Meter westlich des <i>headcuts</i>	88
Foto 5.24	Rillenspülung zwischen Horstgräsern im Einzugsgebiet von Salada 3	89
Foto 5.25	Der <i>gully</i> Salada 4	91
Foto 5.26	Ergebnis flächenhaften Abtrags ca. 10 m von der <i>gully</i> -Kante von Salada 4 entfernt auf der Klasse HGO	92
Foto 5.27	<i>Gully</i> Salada 4: Der etwa 60 cm hohe Damm, der die <i>gully</i> -Erweiterung verhindert	94
Foto 5.28	Der <i>gully</i> Luchena	96
Foto 5.29	Zeichen flächenhaften Abtrags im Einzugsgebiet von Luchena	97
Foto 5.30	Verschlammte Bodenoberfläche im Einzugsgebiet von Luchena	98

Kastenverzeichnis

Kasten 2.1	Risiken des Trockenfeldbaus	16
Kasten 5.1	Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort María de Huerva	55
Kasten 5.2	Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Barranco Rojo ..	61
Kasten 5.3	Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Freila-A	66
Kasten 5.4	Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Freila-B	69
Kasten 5.5	Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Negratín 1	72
Kasten 5.6	Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Negratín 3	76
Kasten 5.7	Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Casablanca	80
Kasten 5.8	Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 1	86
Kasten 5.9	Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 3	90
Kasten 5.10	Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 4	95
Kasten 5.11	Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Luchena	98
Kasten 6.1	Aktuelle Geomorphodynamik auf der Klasse „Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung“	105
Kasten 6.2	Aktuelle Geomorphodynamik auf der Klasse „Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung“	106
Kasten 6.3	Aktuelle Geomorphodynamik auf der Klasse „Zwergsträucher 50 bis 80% Bedeckung“	107
Kasten 6.4	Aktuelle Geomorphodynamik auf der Klasse „Horstgräser – offen“	109
Kasten 6.5	Aktuelle Geomorphodynamik auf der Klasse „Horstgräser – dicht“	110
Kasten 6.6	Aktuelle Geomorphodynamik auf den Klassen „Ackerland – Trockenfeldbau“ und „Ackerland – Dauerkultur“	111

Abkürzungsverzeichnis

AB	Ackerland – Brache
AD	Ackerland – Dauerkultur
AT	Ackerland – Trockenfeldbau
BR	Barranco Rojo
bspw.	beispielsweise
CA	Casablanca
ca.	circa
d.h.	das heißt
EZG	Einzugsgebiet
FR-A	Freila-A
FR-B	Freila-B
ha	Hektar
HGD	Horstgräser – dicht
HGO	Horstgräser – offen
KVB	Keine Vegetationsbedeckung
LU	Luchena
m ü. NN	Meter über Normalnull
MDH	María de Huerva
NE1	Negratín 1
NE3	Negratín 3
PA	Pinien-Aufforstung
SA1	Salada 1
SA3	Salada 3
SA4	Salada 4
SH	Schutthalde
STR/WEG	asphaltierte Straße/unbefestigter Weg
SW	Steilwand
u. a.	unter anderem
v. a.	vor allem
z. B.	zum Beispiel
z. Zt.	zur Zeit
ZS20	Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung
ZS50	Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung
ZS80	Zwergsträucher 50 bis 80% Bedeckung

1 Einführung

1.1 Rahmen der Arbeit

Die vorliegende Diplomarbeit entstand innerhalb des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes MoGul (*Monitoring of Gully Erosion in semi-arid Landscapes*). „Das Forschungsprojekt MoGul untersucht Typen, Formenentwicklung und Abhängigkeiten von *gullies* sowie Art und Bedeutung der an *gully*-Erosion beteiligten morphologischen Prozesse [...] entlang eines Transektes von Nordspanien bis Westafrika“ (MoGul 2007a).

Gullies sind typisch für stark von Bodenerosion betroffene Landschaften. Hohe räumliche und zeitliche Dynamik sind Eigenschaften dieser v. a. in semi-ariden bis ariden Landschaften vorkommenden Erosionsform. Die Niederschlagsverhältnisse in Trockengebieten begünstigen die *gully*-Bildung und -erweiterung. Insgesamt geringe Niederschläge (< 300 mm), aber eine sehr unregelmäßige Verteilung mit langen Trockenphasen und kurzen Starkregenereignissen sind charakteristisch.

Der in vielen semi-ariden Landschaften zu beobachtende bzw. vollzogene Landnutzungswandel hin zur extensiveren Nutzung (Beweidung) oder Stilllegung von Flächen haben geringere Infiltrationskapazitäten der Böden und somit vermehrte Oberflächenabflussbildung zur Folge, wodurch die Einschneidung und Weiterentwicklung von *gullies* begünstigt wird (MARZOLFF & RIES 2003: S. 310).

Gullies haben für die betroffenen Landschaften zahlreiche Folgen, die man als „*on-site*-“ bzw. „*off-site*-Schäden“ bezeichnet. Da *gullies* die Konnektivität einer Landschaft erhöhen (POESEN et al. 2003: S. 91), wird auch der Abfluss aus betroffenen Gebieten („*on-site*“) erhöht, wodurch in semi-ariden Landschaften Degradations- und Desertifikationsprozesse beschleunigt werden (VALENTIN et al. 2005: S. 132). In den letzten Jahren rückte die Problematik der „*off-site*-Schäden“ der *gully*-Erosion in den Vordergrund, da durch eine geringere Wasserqualität der Oberflächengewässer und die Verfüllung von Stauseen enorme wirtschaftliche Schäden entstehen (VALENTIN et al. 2005: S. 133; RIES 2003: S. 20).

1.2 Fragestellungen/Methoden des DFG-Projektes „MoGul“

Zur Bearbeitung der Fragestellungen werden in den Untersuchungsgebieten in Nordspanien (zwei Standorte) und Südspanien (zehn Standorte) regelmäßig großmaßstäbige Luftbildbefliegungen von *gullies*, Kartierungen des *headcut*-Umfeldes sowie experimentelle Untersuchungen zu Infiltration und Oberflächenabflussbildung vorgenommen.

Die Luftbildbefliegungen der *gullies* (meist im 2-Jahres-Rhythmus) werden mit dem projekteigenen Zeppelin oder alternativ mit dem Drachensystem durchgeführt (RIES et al. 2003: S. 312ff.), um die hohe räumliche und zeitliche Dynamik dieser Erosionsform zu dokumentieren. Ein Beispiel für Ergebnisse aus diesen Befliegungen sind die durch Frau Dr. Marzloff durchgeführten Veränderungskartierungen der *gullies* die in Kap. 3 dargestellt werden. Um die Situation im *gully*-Umfeld zu erfassen, werden Art und Verbreitung von Bodenkrusten, Landnutzungskartierungen sowie Detailkartierungen und Substratanalysen durchgeführt (MoGul 2007b). Zur Feststellung von Oberflächenabflussbildung und Infiltrationskapazität der Böden erfolgen Messprogramme mit einem Infiltrimeter und einer Beregnungsanlage (BUSCH 2004; PECHO: 2005; ISERLOH 2007; WISTDORF 2007) an den verschiedenen Standorten des Projektes.

1.3 Gegenstand und Ziele der Arbeit

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist der Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik in *gully*-Einzugsgebieten (*gully*-EZGen) im semi-ariden Spanien. Die Landbedeckung kann auf zwei unterschiedliche Arten in den EZGen auftreten: als aktuelle Vegetation unterschiedlicher Bedeckungsgrade oder als landwirtschaftlich genutzte Flächen unterschiedlicher Nutzungsformen und damit zeitlich variabler Bedeckungsgrade. Die aktuelle Geomorphodynamik in *gully*-EZGen im semi-ariden Spanien umfasst Prozesse der Bodenerosion durch Wasser, die im Wesentlichen an der Bodenoberfläche ablaufen, aber auch unterirdisch stattfinden können, so dass diese Formen erst spät sichtbar werden. Bedeutendster Einflussfaktor auf die Intensität der Prozesse ist neben dem Klima der Bedeckungsgrad der Bodenoberfläche.

Das erste Ziel der Arbeit besteht in der Charakterisierung von elf *gully*-EZGen im semi-ariden Spanien. Die Charakterisierung dieser EZGe beinhaltet die Abgrenzung der EZGe sowie die Inventarisierung der Landbedeckungen, der aktuellen Geomorphodynamik und der Oberflächenformen.

Das zweite Ziel besteht in der Herausstellung des Einflusses der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik in den *gully*-EZGen. In einem ersten Schritt soll jedes einzelne EZG unter diesem Aspekt betrachtet und eine Verbindung zur beobachteten Entwicklung des *gullies* hergestellt werden. In einem weiteren Schritt sollen – losgelöst von den einzelnen EZGen – Aussagen zur aktuellen Geomorphodynamik auf unterschiedlichen Arten der Landbedeckung gemacht werden, wobei auch hier unter aktueller Geomorphodynamik die Prozesse der Bodenerosion durch Wasser verstanden werden.

Zusammenfassend ergeben sich für diese Arbeit mehrere Fragen:

- Wie groß sind die EZGe der *gullies*?
- Welche Eigenschaften weisen die EZGe in Bezug auf Landbedeckung (Vegetation/Landnutzung) und aktuelle geomorphologische Prozesse auf?
- Kann die unterschiedliche Flächenentwicklung der einzelnen *gullies* mit den Eigenschaften der EZGe in Verbindung gebracht werden?
- Lässt sich ein Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik feststellen?

1.4 Aufbau der Arbeit

Im **ersten Kapitel** wird in das Projekt MoGul eingeführt und Gegenstand und Ziel sowie Aufbau der Arbeit dargestellt

Im **zweiten Kapitel** werden Aspekte der Bodenerosion im semi-ariden Spanien erläutert. Zunächst werden die klimatischen Begrenzungen für Prozesse, Vegetation und Landwirtschaft genannt. Danach werden die Prozesse und Formen der Bodenerosion durch Wasser wie bspw. flächenhafter Abtrag oder Rillenspülung dargestellt. In Kap. 2.3 werden gesondert die Prozesse der *gully*-Erosion näher betrachtet. Im Anschluss daran folgt eine Betrachtung der Vegetation bzw. Landnutzung im semi-ariden Spanien wobei v.a in den EZGen vorkommende Landbedeckungstypen genannt werden. Das zweite Kapitel schließt mit einer Betrachtung des Zusammenwirkens von Bodenerosion durch Wasser mit Vegetation und Landnutzung.

Im **dritten Kapitel** werden die Untersuchungsstandorte dieser Arbeit zunächst großräumlich im Hinblick auf Geologie, Klima und Landbedeckung beschrieben und es wird in die Umgebung der *gullies* eingeführt sowie deren Flächenentwicklung über die letzten Jahre dargestellt.

Im **vierten Kapitel** werden die Datengrundlagen und die Methoden, die in dieser Arbeit angewendet werden, beschrieben:

- Kartierung der Landbedeckung,
- Kartierung von aktueller Geomorphodynamik und Oberflächenformen,
- Entnahme von Bodenproben sowie die Auswertung dieser und
- Verschneidung von Layern in ArcMap.

Im **fünften Kapitel** werden für jeden *gully* die Ergebnisse der Einzugsgebiets-Kartierungen und der Bodenproben beschrieben und v. a. im Hinblick auf die Flächenentwicklung der *gullies* interpretiert. Im Anschluss erfolgt eine Diskussion der Ergebnisse.

Im **sechsten Kapitel** werden die digital vorliegenden Ergebnisse der Kartierungen in den jeweiligen EZGen im GIS verschnitten, um herauszufinden, ob sich bei der Betrachtung des

Zusammenhangs zwischen Landbedeckung und aktueller Geomorphodynamik über die EZGe hinweg ein Trend erkennen lässt. Das Kapitel schließt mit einer zusammenfassenden Betrachtung der Ergebnisse und einer Diskussion ab.

Im **siebten Kapitel** werden die angewendeten Methoden abschließend kritisch bewertet.

Im **achten Kapitel** werden die Ergebnisse zusammengefasst und abschließend betrachtet.

2 Aspekte der Bodenerosion im semi-ariden Spanien

2.1 Klimatische Bedingungen im Mittelmeerraum

Das Klima stellt die Grundvoraussetzung und Begrenzung für geomorphologische Prozesse, Vegetation und Landwirtschaft im Mediterranraum dar. Sämtliche Formen und Prozesse sind direkt oder indirekt dem Klima geschuldet, das besonders durch seine Variabilität gekennzeichnet ist:

„One of the most noted characteristics of the mediterranean climate is its seasonal variability“
(WAINWRIGHT & THORNES 2004: S. 77).

Das Mittelmeerklima (auch Winterregenklima, Etesienklima, Westseitenklima genannt) ist durch den jährlichen Wechsel von Sommertrockenheit und Winterregen gekennzeichnet. Das Mittelmeerklima erhält diese Besonderheit durch die jahreszeitliche Verschiebung der Innertropischen Konvergenzzone (ITC), wobei der Mittelmeerraum während des Sommers in der subtropischen Hochdruck- und Passatzzone liegt und während des Winters in der außertropischen Westwindzone. Im Sommer herrschen im Mittelmeerraum absteigende Luftbewegungen vor, die für ein strahlungsreiches, trocken-heißes Wetter mit Temperaturen über 40°C und mehreren ariden Monaten sorgen. Im Winter durchziehen Tiefdruckgebiete das Mittelmeer in west-östlicher Richtung, die aber durch das Azorenhoch negativ beeinflusst werden, so dass das Wetter auch im Winter meist unter Hochdruckeinfluss steht. Der Hauptteil des Niederschlags fällt in der Zeit zwischen Oktober und April. Um die Bedeutung dieses besonderen Klimatyps für Vegetation, Mensch und (Land-)Wirtschaft besser zu verstehen, empfiehlt sich eine getrennte Betrachtung von thermischem und hygrischem Klima (ROTHER 1993: S. 27ff.).

2.1.1 Das thermische Klima

Die Temperaturen im Mittelmeerraum werden durch die planetarische Lage und die Verteilung von Land und Meer verursacht. Die Werte nehmen also Richtung Süden und kontinenteinwärts zu. Die Jahresmittel der Temperatur liegen für Nordspanien im Bereich zwischen 14 und 15°C und für Südspanien zwischen 17 und 18°C. Die höchsten Temperaturen werden im Juli/August gemessen, die niedrigsten im Januar. Im Sommer können Temperaturen von 35-40°C auftreten bei einer Sonnenscheindauer bspw. in Südostspanien von über 2500 h/a (ROTHER 1993: S. 31 ff.). „Für sich besehen würde es zumindest in Küstennähe eine fast ganzjährige Vegetationsperiode erlauben. Die Niederschlagsverhältnisse limitieren diese Gunst jedoch.“ (ROTHER 1993: S. 34)

2.1.2 Das hygrische Klima

Das hygrische Klima ist für den Mittelmeerraum von sehr großer Wichtigkeit, da es den begrenzenden Faktor für Pflanzenwachstum und Landwirtschaft darstellt. Hier sind zwei Komponenten von entscheidender Bedeutung:

- (1) die ausgeprägte sommerliche Trockenheit und
- (2) die hohe Variabilität der Niederschläge während der semi-ariden bis semi-humiden Jahreszeiten. (ROTHER 1993: S. 34; WAINWRIGHT & THORNES 2004: S. 70).

Der Hauptteil des jährlichen Regens fällt im Winterhalbjahr, während der Mittelmeerraum in der Zone der außertropischen Westwinde liegt. Im Sommer dagegen fallen die Niederschlagssummen aufgrund des Einflusses durch das Azorenhoch deutlich geringer aus. Die Übergangsjahreszeiten weisen überwiegend im nördlichen Mittelmeerraum Niederschlagsspitzen auf, was auf Verschiebungen der ITC zurückzuführen ist. Die Trockenheit nimmt, sieht man von lokalklimatischen Ausnahmen ab, von Norden nach Süden zu. Die Niederschlagsvariabilität ist im Sommer größer als im Winter. Häufig fällt ein erheblicher Teil des Jahresniederschlags in kurzer Zeit. Grund dafür sind gewittrige Starkregen (torrentielle Regen), die hohe Oberflächenabflussmengen und Bodenerosion hervorrufen können (ROTHER 1993: S.35 ff.).

2.2 Bodenerosion durch Wasser

2.2.1 Ablösung und Transport von Bodenteilchen

“Soil erosion by water is considered to be one of the most important land degradation processes in the Mediterranean” (POESEN et al.: 2002: S. 229).

Bodenerosion durch Wasser ist ein mehrphasiger Prozess. In der Literatur wird Bodenerosion durch Wasser in die Teilprozesse Ablösung und Transport von Bodenteilchen unterteilt. (AUERSWALD 1998: S. 33; MORGAN 1999: S. 8; SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2002: S. 416).

Zunächst muss Bodenmaterial für den Abtransport bereitgestellt und aus dem Aggregatverband gelöst werden. Die Ablösung von Material kann auf unterschiedliche Arten geschehen: Nach langer sommerlicher Trockenheit sind die Aggregate ausgetrocknet und mit Luft gefüllt. Einsetzende Starkregen schließen durch das **rasche Befeuchten** die Luft in den Aggregaten ein, wodurch Drücke von bis zu 10^6 Pa (AUERSWALD 1998: S. 33) die Aggregate zerkleinern. **Einseitiges Befeuchten** von Aggregaten kann durch Aufquellen ebenfalls zur Zerstörung der Aggregate führen. Organische Substanz mindert aufgrund hydrophober Eigenschaften diesen Effekt, der mit zunehmender Dauer des Ereignisses aber weniger bedeutsam wird (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2002: S. 416). Die nun entstandenen Mikroaggregate (0,2-1 mm)

können weiterhin noch dispergiert werden, was durch **Unterschiede in der Salzkonzentration** des fallenden Regens und des Bodens verursacht werden kann. Nach AUERSWALD (1998: S. 33) fördert Natrium in Gebieten ariden und semi-ariden Klimas die Dispergierung von Bodenteilchen, da es unter diesen Klimabedingungen nicht aus dem Bodenkörper ausgewaschen wird. Einer der wichtigsten Aspekte der Bodenablösung ist der sog. *splash-Effekt*, mit dem Bodenmaterial abgelöst und über kurze Strecken transportiert werden kann. Der *splash-Effekt* beruht auf der kinetischen Energie fallenden Regens, die mit zunehmender Größe der einzelnen Tropfen überproportional steigt (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2002: S. 416). Der bei diesem Vorgang entstehende Druck löst Bodenteilchen ab und verlagert diese bis zu 1,5 m weit (AUERSWALD 1998: S. 35). MORGAN (1999: S. 11) spricht hierbei einerseits von einer konsolidierenden Kraft des Regentropfens, da durch den Druck des auftreffenden Tropfens der Boden verdichtet wird, andererseits von der schon genannten aggregatzerstörenden Kraft, die durch das seitliche Ausbreiten des aufgeschlagenen Tropfens entsteht und durch ihre Energie Bodenpartikel ablösen und transportieren kann. Dieses Abtragungspotential, das Regenereignissen unterschiedlicher Intensität (gemessen in Menge pro Zeit) innewohnt, bezeichnet man als **Erosivität** (MORGAN 1999: S. 31; WAINWRIGHT & THORNES 2004: S. 171).

Wenn die Transportkapazität des Wassers nicht mehr ausreicht um die Bodenteilchen zu transportieren, lagert sich das Material ab, wird in die Poren gespült und verschlämmt diese. Die Bodenoberfläche wird versiegelt, die Infiltrationskapazität sinkt und fördert oberflächliches Abfließen von Wasser. Wenn der Boden nun austrocknet, verhärtet diese Versiegelung und man spricht von einer **Kruste**. MORGAN (1998: S. 12) unterscheidet zwischen Gefüge-Krusten (*structural crusts*), die insitu entstehen und Ablagerungskrusten (*depositional crusts*), die in kleinen Mulden an der Bodenoberfläche gebildet werden.

Neben dem eher kleinräumigen Transport von Bodenpartikeln durch *splash* ist der Transport mit dem Oberflächenabfluss deutlich effektiver (AUERSWALD 1998: S. 36). Wenn der Muldenspeicher, der oft weniger als 1 mm Niederschlag aufnehmen kann, gefüllt und die Infiltrationskapazität herabgesetzt ist, kommt es zunächst zu flächenhaftem Oberflächenabfluss geringer Mächtigkeit (wenige mm) und Geschwindigkeit (weniger als 10 cm/s) (AUERSWALD 1998: S. 37). Weiter auf diesen flächenhaften Abfluss auftreffende Regentropfen verursachen nun eine Turbulenz des abfließenden Wassers, so dass vorbereitetes Feinmaterial und kleinere Aggregate aufgewirbelt und mit abtransportiert werden können. Flächenhafter Oberflächenabfluss selbst besitzt nicht genügend Energie, um Bodenteilchen zu erodieren (WAINWRIGHT & THORNES 2004: S. 176). Mit zunehmender Hanglänge konzentriert sich der Oberflächenabfluss in linearen Formen, wodurch die Erosionskraft lokal steigt und das Wasser nun Bodenmaterial ablösen kann. Die Fähigkeit konzentrierten Oberflächenabflusses Bodenmaterial zu lösen und sich einzuschneiden, führen WAINWRIGHT & THORNES (2004: S.

177) als zentrales Unterscheidungsmerkmal zwischen flächenhaften Abtragungsvorgängen und Linearerosion an. Nach AUERSWALD (1998: S. 37) ist der Transport in diesen linearen Formen wie z.B. Rillen „häufig der wichtigste Transportmechanismus, der Bodenmaterial über größere Strecken verfrachtet“. Der flächenhafte Abfluss aus Zwischenrillenbereichen versorgt diese lineare Erosionsform weiter mit Wasser und erodiertem Material. Mit abnehmendem Gefälle und somit sinkender Transportkapazität an lokalen Verflachungen oder am Hangfuß kommt es zur Ablagerung des Materials und zur Ausbildung eines Schwemmfächers (AUERSWALD 1998: S. 37).

2.2.2 Formen der Bodenerosion durch Wasser

Auf Grundlage dieser abflussbildenden und bodenablösenden Prozesse unterscheiden verschiedene Autoren (AUERSWALD 1998; CAMMERAAT & IMESON 1998; MORGAN 1999 SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002; WAINWRIGHT & THORNES 2004) vier verschiedene Formen der Bodenerosion durch Wasser:

- (1) **Flächenhafte Erosion** (flächenhafter Abtrag, Flächenspülung, *sheet wash*, *interrill erosion*) bezeichnet die Form, bei dem Oberflächenabfluss unkonzentriert über die Fläche abfließt und durch *splash*, Dispergierung und Luftspregung abgelöstes Material mitführt.
- (2) **Rillenerosion und Rinnenerosion** (*rill wash*, *rill erosion*). Der Übergang von der genannten flächenhaften Erosion durch Wasser zu sich linear einschneidenden Formen ist fließend. Starke flächenhafte Erosion und beginnende Rillenbildung sind schwer zu trennen (WAINWRIGHT & THORNES 2004: S. 177). Grundsätzlich spricht man bei linearen Erosionsformen mit einer Breite und Tiefe von ca. 10 cm von Rillen. Zunehmend konzentrierter Oberflächenabfluss erhöht die auf die Bodenoberfläche wirkenden Kräfte für Ablösung und Transport weiter, so dass Rinnen von bis zu 30 cm Tiefe entstehen können, die sich rückschreitend hangaufwärts einschneiden. Wenn diese Rinnen durch Bodenbearbeitung entfernt werden können, spricht man in der englischsprachigen Literatur von „*ephemeral gully erosion*“, wobei dort zwischen Rillen und Rinnen jedoch keine Unterscheidung getroffen wird. (AUERSWALD 1998: S. 38; POESEN 2002: S. 235; WAINWRIGHT & THORNES 2004: S. 175ff.).
- (3) **Grabenerosion** (*gully-erosion*). Kann die Erosionsform durch normale Bodenbearbeitung nicht mehr entfernt werden spricht man von *gully*-Erosion. Diese *Gullies* sind mehrere Meter breit und können sich bis 30 m eintiefen. Im englischen Sprachraum spricht man dabei im Gegensatz zu „*ephemeral gullies*“ von „*permanent gullies*“, die mit normaler Bodenbearbeitung nicht zu beseitigen sind (POESEN et al.

2003: S. 92). Eine detaillierte Beschreibung dieser Erosionsform ist in Kapitel 2.3 zu finden.

- (4) **Tunnelerosion** (*tunnel erosion, piping*). Die vierte Erosionsform durch Wasser ist zunächst nicht an der Bodenoberfläche sichtbar und wird meist durch einen hydraulischen Gradienten, wie er an Terrassenkanten, *gully*-Rändern oder an Ramblas vorkommt, induziert. Hier spielt der Prozess der Dispergierung eine entscheidende Rolle. In einen relativ zum Unterboden stabileren Oberboden infiltriert Wasser und räumt darunter Bodenteilchen an Rissen oder Tiergängen aus. Geringer Gehalt an organischem Material im Unterboden fördert den Prozess der Dispergierung und Fortführung. Wenn die Stabilität des Oberbodens nicht mehr ausreicht, bricht der Tunnel ein und die Form wird oberflächlich sichtbar. In der deutschen Literatur bezeichnet man dies als Tunnelerosion, im angelsächsischen Sprachraum wird der Begriff „*piping*“ synonym verwendet (MORGAN 1999: S. 24; POESEN 2002: S. 238) (s. Kap. 2.3.2).

2.3 Gully-Erosion

2.3.1 Begriffsbestimmung

Nach MORGAN (1999: S. 23) sind *gullies* „relativ dauerhafte (*permanent*), steilwandige Wasserläufe, die kurzzeitige (*ephemeral*) Abflüsse während Starkregenfällen bilden.“ AUERSWALD (1998: S. 38) erklärt: „Wenn die Linearform nicht mehr verschüttet werden kann und daher auf Dauer erhalten bleibt, spricht man von Graben- oder *gully*-Erosion. Die Gräben können mehrere Meter breit und tief werden.“ POESEN (2002: S. 229) hebt die Wichtigkeit von akkumuliertem, konzentriertem Oberflächenabfluss für die *gully*-Bildung hervor und spricht von einem Größenbereich zwischen 0,5 bis 30 m Tiefe. *Gullies* sind nach POESEN (2003: S. 91) wichtige Sedimentquellen und fördern durch ihre Funktion als „*links*“ zwischen unterschiedlichen Reliefpositionen die „*connectivity*“ einer Landschaft.

2.3.2 Prozesse der *gully*-Bildung

Das Einschneiden von *gullies* ist ein von mehreren Faktoren abhängiger Prozess, der nicht linear verläuft, sondern sich an Schwellenwerten orientiert (VALENTIN et al. 2005: S. 136; POESEN et al. 2003: S. 104).

Generell begünstigt eine starke **Hangneigung** die Abflussgeschwindigkeit und somit die Neigung zur Einschneidung von Rillen oder *gullies*. Wiederholte Erosion der Schlammkrusten und eine niedrigere kinetische Energie des fallenden Regens vermindern aber die Neigung zur Verkrustung bzw. Versiegelung an steilen Hängen. Flachere Hänge, die eine höhere Neigung zur

Krustenbildung aufweisen, können dadurch erheblich mehr Oberflächenabfluss produzieren als steile Hänge, womit auch der Schwellenwert für das Einschneiden von linearen Formen herabgesetzt wird (VALENTIN 2005: S. 138f.).

Ein weiterer Aspekt ist die notwendige **Größe des Einzugsgebiets** eines bestimmten Punktes, um genügend Oberflächenabfluss zur *gully*-Einschneidung zu erhalten (VALENTIN et al. 2005: S. 138; POESEN et al. 2003: S. 108). Das Konzept von PATTON & SCHUMM (1975) basiert auf der Annahme, dass in einer Landschaft mit einem bestimmten Klima und einer bestimmten Landnutzung für eine gegebenen Hang (S) ein kritisches Einzugsgebiet (A) notwendig ist, um genügend Oberflächenabfluss für *gully*-Bildung zu erhalten:

$$S = a \cdot A^b$$

wobei a und b die natürlichen Eigenschaften des Standortes beschreiben. Veränderte natürliche Eigenschaften haben auch veränderte Schwellenwerte zur Folge (POESEN et al. 2003: S. 104f.).

Das Vorhandensein von **Schlammkrusten** hat keine eindeutigen Auswirkungen auf die *gully*-Einschneidung. Einerseits kann eine Einschneidung aufgrund der höheren Widerständigkeit der Krusten verzögert werden, andererseits fördern Krusten die Oberflächenabflussbildung und somit auch die Energie des Oberflächenabflusses, Krusten aufzubrechen und sich einzuschneiden (VALENTIN et al. 2005: S. 139). AUERSWALD (1998: S. 38) sieht den „Haupteffekt der Regentropfen [...] in der Verschlammung der ungeschützten Böden im Einzugsgebiet des Grabens [*gullies*]. Dadurch entsteht viel Abfluss, der den Graben dann ausräumt“.

Piping wird als einer der wichtigsten Aspekte für die *gully*-Bildung gesehen. Hierfür sind insbesondere bodenchemische und -physikalische Eigenschaften des Substrates wie unterschiedliche Porosität, Verfestigung und Löslichkeit sowie Eigenschaften von Tonmineralen verantwortlich (BRYAN & JONES 1997: S. 209f.; POESEN et al. 2002: S. 238; RIES 2000: S. 102f.; VALENTIN et al. 2005: S. 139; WAINWRIGHT & THORNES 2004: S. 179f.). *Piping* ist als vorwiegend unterirdisch ablaufender Prozess lange Zeit nicht an der Oberfläche sichtbar. BRYAN & JONES (1997: S. 210) unterscheiden zwei Typen von *piping*:

- (1) Wasser sickert durch eine poröse Schicht und entwickelt genug Kraft, um am Austritt an die Oberfläche Material mitzureißen und sich anschließend vom Austritt her rückwärts zu erweitern.
- (2) Wasser fließt durch einen bereits bestehenden Riss (Tiergänge, Wurzelgänge, Trockenrisse, Entlastungsrisse) und erweitert diesen Riss sukzessive.

Letzteres wird auch als „*tunnel erosion*“ bezeichnet und entwickelt sich im Gegensatz zu (1) nicht vom Austritt her. Für die Entwicklung von *pipes* ist konzentrierter Oberflächenabfluss vonnöten, der dann über die beschriebenen Hohlräume in tiefere Schichten gelangen kann.

Piping-Prozesse können sehr unterschiedliche Formen zu Folge haben: HARVEY (1982) beschreibt bei einer Untersuchung in Südostspanien einerseits sehr kleine, flache, wenige Zentimeter unter der Geländeoberfläche befindliche *pipes*, ebenso wie größere, die mehrere Meter tief werden können.

2.3.3 Prozesse der *gully*-Erweiterung

Wenn sich ein *gully* bereits in eine Fläche oder einen Hang eingeschnitten hat, können verschiedene Prozesse oder Prozesskombinationen zur Erweiterung und Vergrößerung dieser Erosionsform beitragen (POESEN et al. 2002: S. 235). Das Vorhandensein der im Folgenden dargestellten Prozesse ist neben scharfen Kanten, Fließspuren und frisch abgelagertem Bodenmaterial Zeichen der Aktivität eines *gullies* (OOSTWOUD WIJDENES et al. 2000: S. 151ff.).

Piping. Der Prozess des *piping* wird als einer der wichtigsten Prozesse der *gully*-Bildung angesehen (s. Kap. 2.3.2.), jedoch weniger für die Weiterentwicklung eines *gullies*. Dennoch konnte bei mehreren Untersuchungen ein Zusammenhang zwischen Entwicklungsrichtung des *Gullies* und vorher gebildeten „*pipes*“ nachgewiesen werden (RIES 2000: S. 102).

Headcut migration/-retreat. Der *headcut* ist der aktivste Bereich des *gullies*. An dieser oft senkrecht verlaufenden Geländestufe kommt es durch die erodierende Kraft des Wassers zu rückschreitender Erosion, die den *gully* vertieft und erweitert (POESEN et al. 2002: S. 239). Hier ist ebenso wie bei der Bildung von *gullies* oder beim *piping* konzentrierter Oberflächenabfluss der Entwicklung förderlich. Abb. 2.1 zeigt ein Schema eines aktiven *gullyheadcuts* mit charakteristischen Merkmalen wie *plunge pools*, die durch die Arbeit fließenden Wassers entstehen und *tension cracks*, die zu den Massenbewegungen zählen.

Plunge pools. Diese Form der Unterschneidung (s. Abb. 2.1) entwickelt sich an der Basis vertikaler Seitenwände des *gullies* bzw. am *headcut* durch die kinetische Energie des auftreffenden Wassers. Die Größe und Tiefe dieser *plunge pools* wird durch den Höhenunterschied bzw. die Menge des Wassers gesteuert (POESEN et al. 2002: S. 239). Instabilität der *gully*-Wände bzw. des *headcuts* sind Folgen sich eintiefender *plunge pools*.

Massenbewegungen. Das Zusammenbrechen der vertikalen Strukturen wie Seitenwänden oder des *headcut*-Bereichs hat meist das Überschreiten der kohäsiven Kräfte, die den Sedimentblock in seinem Verband halten, als Ursache. Aufgrund von Unterschneidung bzw. Entfernung von Material an der Basis solcher Wände hat die Entwicklung von sog. „*tension cracks*“ (s. Abb. 2.1) zur Folge.

POESEN et al. (2002: S. 239) unterscheiden im Kontext der *gully*-Erweiterung durch *tension cracks* zwei wesentliche Arten von Massenbewegungen.

- (1) Den Zusammenbruch durch kontinuierliches Kriechen (*creep*) über längere Zeit oder
- (2) das plötzliche Zusammenbrechen (Bewegen) der Struktur wegen des Überschreitens der Scherkräfte auf einer rutschigen Oberfläche bzw. durch eine sättigungs- oder anthropogen induzierte Erhöhung der Scherkräfte.

ACTIVE GULLY HEAD

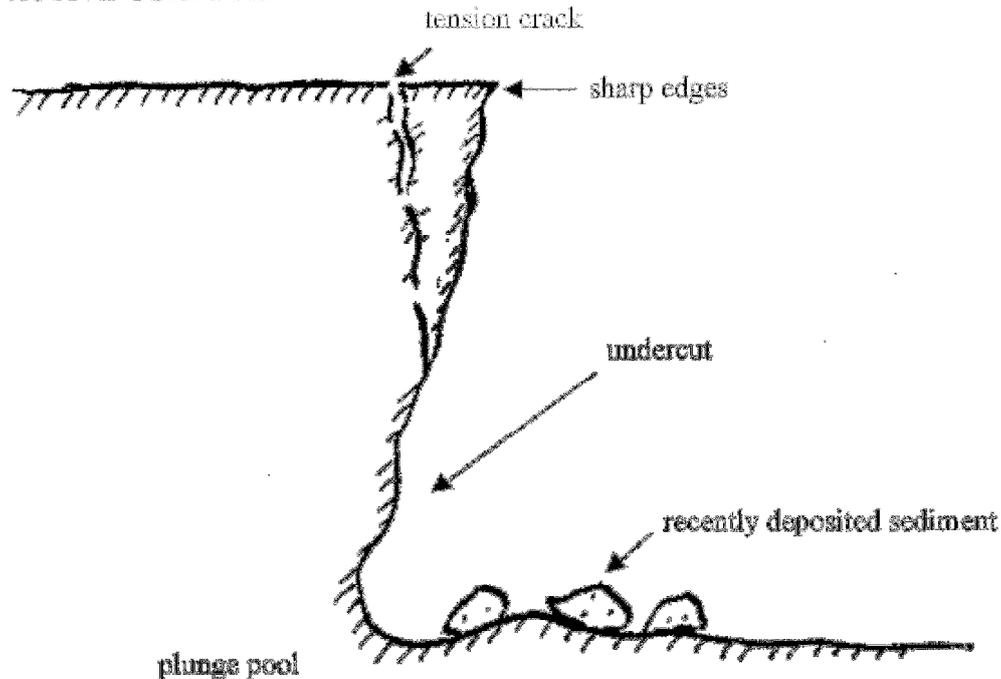


Abb. 2.1: Charakteristische Merkmale eines aktiven *gully-headcuts* (OOSTWOUDE WIJENES et al. 2000: S. 151).

Fluting. Ein weiterer Prozess, der aktiv zur Erweiterung der *gully*-Wände beiträgt, ist das *fluting*. *Flutes* sind vertikal verlaufende, rillenähnliche Formen, die durch abfließendes Wasser entstehen und vorrangig in zu Dispergierung neigenden Substraten vorkommen.

Bifurcation. Bei der Hangaufwärtsbewegung des *headcuts* kann es aufgrund einer Teilung des Oberflächenabflusses zu einer Verzweigung des *gullies* (*bifurcation*) und somit zu einer Ausbildung eines (oder mehrerer) weiterer *headcuts* kommen. Es ist aber anzunehmen, dass sich dadurch die Entwicklungsgeschwindigkeit des *gullies* verlangsamt, da jeder Seitenarm nun die eigenen Schwellenwerte überschreiten muss (POESEN et al. 2002: S. 240).

2.4 Landbedeckung im semi-ariden Spanien

2.4.1 Vegetation

„Vegetation is the landscape feature that most characterizes the Mediterranean“ (WAINWRIGHT & THORNES 2004: S. 121).

Aufgrund der klimatischen Verhältnisse mit langen Trockenphasen und Niederschlägen in Form von Starkregen kommt der Vegetation im Hinblick auf Bodenerosion bzw. oberflächenformende Prozesse eine besondere Stellung zu. Wichtig ist, dass die reale Vegetation der Iberischen Halbinsel sich stark von der potenziell natürlichen unterscheidet. „Vegetationsbeeinträchtigende Wirtschaftsformen“ (POTT 2005: S. 478) induzierten und förderten die Herausbildung von Ersatzformationen, die Degradationsstadien der potentiell natürlichen Vegetation darstellen.

Die wichtigsten konkurrierenden Pflanzentypen sind im Mittelmeerraum die Hartlaubgewächse (Sklerophyllen) und die Weichlaubgewächse (Malakophyllen). Letztere haben ihre stärkste Verbreitung in den semi-humiden bis humiden Bereichen der Iberischen Halbinsel und werden hier nicht näher beschrieben.

Die Verbreitung der immergrünen Hartlaubgewächse fällt mit der Verbreitung des Olivenbaumes (*Olea europaea*) zusammen, der eine der wichtigsten Indikatoren für die Abgrenzung des Mittelmeerraumes ist (WAGNER 2001: S. 221). Charakteristisch für diesen Pflanzentyp ist die Anpassungsfähigkeit an längere Trockenphasen. Hartlaubgewächse besitzen relativ kleine, ledrige, mit Wachs überzogene Blätter und die Spaltöffnungen sind eingesenkt, was auch bei nachlassender Wasserversorgung für die Stabilität des Blattes sorgt. Diese Eigenschaften ermöglichen den Hartlaubgewächsen über das ganze Jahr hinweg eine ausgeglichene Wasserbilanz.

Es werden in den vollmediterranen Gebieten vier Wuchsformen der realen Vegetation unterschieden (POTT 2005: S. 477f.; ROTHER 1993: S. 55f.; SCHROEDER 1998: S. 237f.; WAGNER 2001: S. 229, WAINWRIGHT & THORNES 2004: S. 124).

1. **Immergrüne Hartlaubwälder** (Primär-Macchie, *evergreen forest*, *primary maquis*) erreichen Höhen bis zu 15 m und werden durch eine bodennahe Strauchschicht ergänzt. Zu den Hauptarten gehören Steineiche (*Quercus ilex*) und Korkeiche (*Quercus suber*). Die Hartlaubwälder sind räumlich stark begrenzt und aufgrund der jahrtausendlangen, oft unangepassten Nutzung durch verschiedene Stadien der Degradation ersetzt (POTT 2005: S. 477). Diese Nutzung, etwa für Schiffsbau oder als Feuerholz, bedingte die Ausbildung von Sekundärformationen.
2. **Hartlaubstrauchformationen** (Sekundär-Macchie, Hohe Macchie, Hartlaubgebüsch, *secondary maquis*, *maquis shrublands*, *shrub matorral*) stellen eine Degradationsform

der immergrünen Hartlaubwälder dar und sind weit verbreitet. Sie beinhalten u.a. Sträucher wie Rosmarin, Wacholder, Thymian und verschiedene Ginsterarten. Leitarten sind der Erdbeerbaum, die Baumheide und die Montpellier-Zistrose. Die Hartlaubstrauchformationen erreichen Wuchshöhen von 2-4 m und treten oft als dichtes Gebüsch auf und sind hauptsächlich auf silikatischen Substraten zu finden (ROTHER 1993: S. 58; WAINWRIGHT & THORNES 2004: S. 124).

3. Die **Zwergstrauchbestände** (Niedrige Macchie, Monte Bajo, Tomillares [span.], Garigue, *garrigue shrublands*, *degraded matorral*) sind durch menschliche Nutzung weiter degradierte Wuchsformen, die in ihrer Artenzusammensetzung der der Hartlaubstrauchformationen ähneln. Die meist nur kniehohen Bestände sind offen, ähnlich einer Heide (ROTHER 1993: S. 59). Zwischen den offen stehenden Individuen können sich Thero- und Geophyten entwickeln. Die Leitart der Zwergstrauchbestände wechselt räumlich und der Artenbestand ist generell reichhaltiger als bei den Hartlaubstrauchformationen. Viele der Pflanzen beinhalten ätherische Öle (Minze, Thymian, Salbei, Lavendel, Rosmarin), welche die mehr oder weniger häufigen Brände verstärken können. An den in dieser Arbeit untersuchten Standorten sind v. a. Zwergstrauchbestände mit unterschiedlichen dominierenden Arten (*Thymus vulgaris*, *Genista scorpius*, *Rosmarinus officinalis*) entstanden. Die Verteilung der Zwergstrauchbestände im Mittelmeerraum zeigt Abb. 2.2.



Abb.2.2: Verbreitung von Zwergsträuchern im Mittelmeerraum (ROTHER 1993: S. 58).

4. **Felsdriften** (Pelouse, mediterrane Felsheiden, Pseudosteppe) genannte Standorte bilden die letzte Degradationsform. Felsdriften finden sich an besonders steilen Standorten oder dort, wo die Böden nur noch sehr geringmächtig sind. Hier bilden sich verschiedene Rasengesellschaften, Polsterbestände oder nahezu vegetationsfreie Ödlandflächen, bei denen sich eine natürliche Regeneration äußerst schwierig darstellt.

Abbildung 2.3 zeigt den Zusammenhang zwischen der primären Vegetation mit ihren Degradationsstadien und den wichtigsten Landnutzungen (Felder, extensive Weide) sowie im Gegenzug die Regeneration. Die genannten Felsheiden entstehen bei weiterer Degradation der Garigues.

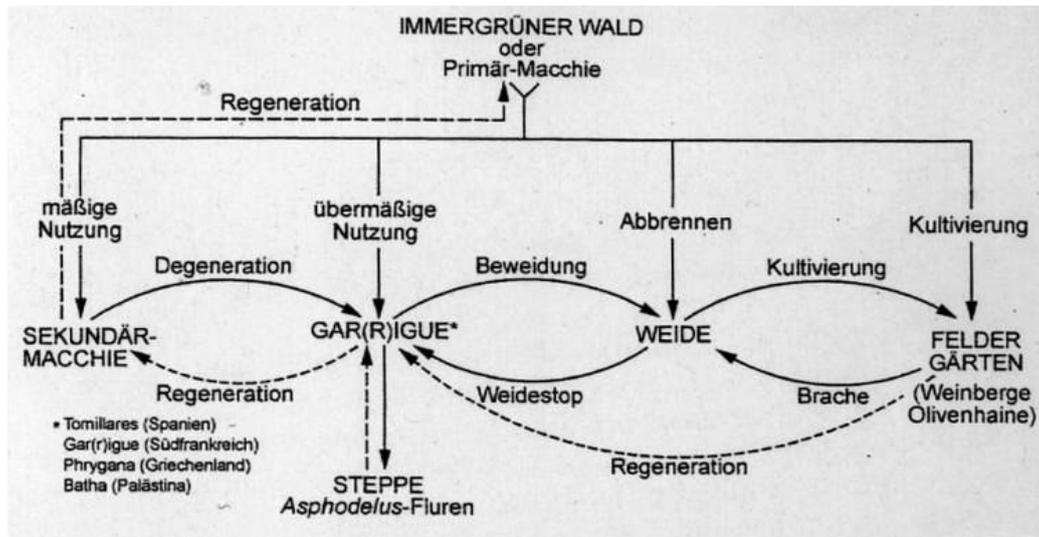


Abb. 2.3: Degradation und Regeneration mediterraner Vegetation unter anthropo-zoogenem Einfluss (POTT 2005: S. 479).

Wegen ihrer Zugehörigkeit zur Halbwüsten-, bzw. Steppenvegetation werden die in den Einzugsgebieten der *gullies* ebenfalls vorkommenden Horstgräser (Espartogras, Halfagras) oft nicht in einem Atemzug mit der eben dargestellten Vegetation genannt. Nach POTT (2005: S. 481) zählt z.B. das Horstgras *Stipa tenacissima* zur thermomediterranen Zone, die die küstennahen südlichen Bereiche bis etwa 300 bis 400 m ü. NN beschreibt.

2.4.2 Landnutzung

Trockenfeldbau (*campo secano*). Die landwirtschaftliche Nutzung im Mittelmeerraum ist, wie oben dargestellt durch das hygrische Klima begrenzt (ROTHER 1993: S. 34). Aufgrund des begrenzten Wasserdargebots sind die Landwirte im Mediterranraum gezwungen, durch einen Wechsel von Anbau- und Brachejahren Feuchtigkeit im Boden zu speichern. ROTHER (1993: S. 132) nennt zwei Arten des Trockenfeldbaus:

- (1) *cultivo al tercio*: ein Anbaujahr und zwei Brachejahre und
- (2) *cultivo año y vez*: ein Anbau- und ein Brachejahr.

Während der Brachejahre wird der Boden durch Pflügen, Eggen und Walzen bearbeitet, um ihn durch Zerstörung der Kapillaren gegen Austrocknung zu schützen (WAGNER 2001: S. 246).

Während der Brachejahre wird die Fläche meist extensiv durch transhumante Vieherden (Schafe, Ziegen) beweidet (s. Abb. 2.3).

Im Trockenfeldbau werden hauptsächlich Weizen, Gerste und Hafer (span. *cultivos herbáceos de secano*), aber auch **Dauerkulturen** wie Mandeln oder Oliven (span. *cultivos leñosos de secano*) angebaut. Den Gegensatz dazu bilden bewässerte Flächen (*cultivos de regadío*), die für die vorliegende Arbeit aber keine Rolle spielen. Die Folgen des Trockenfeldbaus für das mediterrane Geoökosystem fasst Kasten 2.1 zusammen.

Kasten 2.1: Risiken des Trockenfeldbaus (ROTHER 1993: S. 133; WAGNER 2001: S. 247f.).

- Förderung von Bodenerosion durch Wasser und Wind, da in Brachejahren keine ausreichende Pflanzendecke vorhanden ist.
- Starke Schwankung der Erträge aufgrund der hohen Niederschlagsvariabilität (s. Kap. 2.1).
- Während der Niederschlagsspitzen im Frühjahr und Herbst ist der Boden meist unbedeckt.
- Wegen des hohen Flächenbedarfs dieser traditionellen Wirtschaftsweise mussten durch Rodungen weitere Flächen hinzugewonnen werden.

2.5 Landbedeckung und Bodenerosion

2.5.1 Vegetation

Die Vegetationsbedeckung (insbesondere Zwergstrauchbestände) ist aufgrund der klimatischen und historischen Voraussetzungen in semi-ariden Landschaften über weite Flächen diskontinuierlich und von „freien“ Flächen umgeben (RIES 2000: S. 87). Auf den mehr oder weniger großen freien Flächen können je nach sonstiger Bedeckung (Steine, Flechtenkrusten, Schlämmkrusten) Prozesse wie Bodenablösung, Bodenabtrag und Oberflächenabflussbildung ungehindert stattfinden. Die Vegetation fungiert als limitierender Faktor für diese Prozesse, da sie wie eine „Schutzschicht“ den Boden vor der Energie des auftreffenden Regens schützt (MORGAN 1999: S. 43) und dadurch auch das Einschneiden von Rillen verzögern oder verhindern kann (WOO et al. 1997: S. 157). Neben der Reduktion des *splash*-Effektes wirkt sich die Vegetation positiv auf die bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften des Bodens aus. Bodenphysikalisch sorgt die Vegetation für eine gewisse Stabilität des Oberbodens durch das Wurzelwerk sowie verbesserte Infiltrationseigenschaften entlang der Wurzelbahnen oder Makroporen (WOO et. 1997: S. 157). Bodenchemisch ist v. a. der höhere Gehalt an organischer Substanz zu nennen, der ebenfalls aufgrund seiner Eigenschaften die Stabilität des Bodens lokal erhöht.

CERDÀ (1997: S. 46) und CAMMERAAT (2004: S. 323) weisen in diesem Zusammenhang auf die erheblichen Unterschiede zwischen bewachsenen (*vegetated zones*) und unbewachsenen (*bare*

zones) in Bezug auf ihr Erosionsverhalten hin. Die Variabilität von Oberflächenabflussbildung und Sedimentaustrag auf den „bare zones“ ist nach CERDÀ (1997: S. 46) aufgrund anderer Eigenschaften (Steine, Schlämmkrusten) allerdings höher als auf den „vegetated zones“. Auf die Problematik der Variabilität der sog. „soil surface characteristics“ bzw. „soil surface types“ weist auch SEEGER (2007: S. 8f.) hin.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch BOCHET et al. (1999: S. 41), die unterschiedliche Pflanzenarten in Bezug auf Verbesserung der Eigenschaften des Oberbodens untersuchten. Sie fanden heraus, dass unter Pflanzen bodenstabilisierende Parameter deutlich erhöht sind und dass räumliche Disparitäten bezüglich der Infiltrationsleistung und Oberflächenabflussbildung zwischen den degradierten „bare zones“ und den „vegetated zones“ bestehen (BOCHET et al. 1999: S. 41; CERDÀ 1997: S. 46).

Dem Bedeckungsgrad der Vegetation kommt durch die Verbesserung der Eigenschaften des Bodens im Hinblick auf aktuelle Geomorphodynamik eine entscheidende Rolle zu. Die Beziehung zwischen Vegetationsbedeckung und Oberflächenabfluss bzw. Sedimentaustrag untersuchten FRANCIS & THORNES (1990: S. 363f.) anhand von Niederschlagssimulationen für drei unterschiedliche Bedeckungstypen: (1) *degraded matorral*; (2) *shrub matorral*; (3) *high matorral & pines*. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass ein exponentieller Zusammenhang zwischen Vegetationsbedeckung und Oberflächenabfluss bzw. Sedimentaustrag besteht (s. Abb. 2.4, 2.5) und bestätigen damit Ergebnisse von ELWELL & STOCKING (1976), die diese Beziehung in Simbabwe untersucht haben.

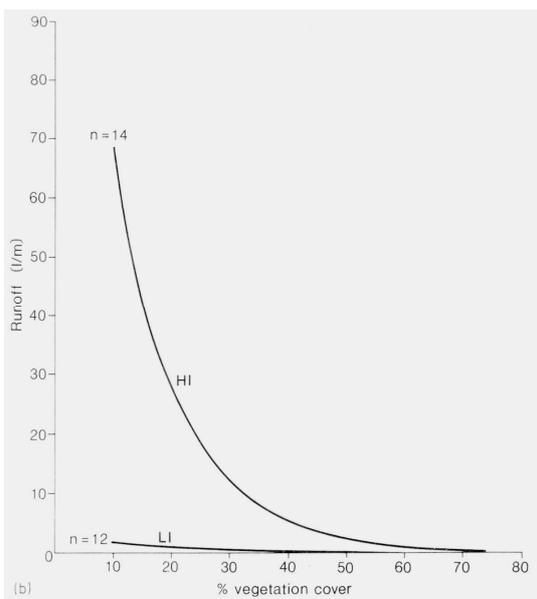


Abb. 2.4: Die Beziehung zwischen Vegetationsbedeckung und Oberflächenabfluss (FRANCIS & THORNES 1990: S. 381).

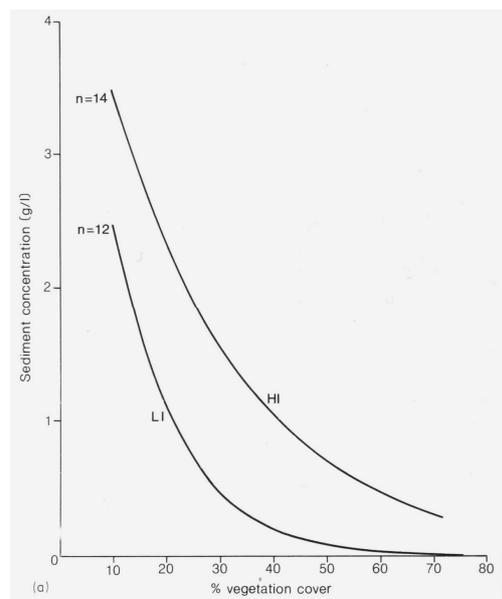


Abb. 2.5: Die Beziehung zwischen Vegetationsbedeckung und Sedimentaustrag (FRANCIS & THORNES 1990: S. 380).

Bei der Beziehung Oberflächenabfluss/Vegetationsbedeckung (s. Abb. 2.4) ist ein deutlicher Unterschied zwischen Ereignissen hoher bzw. niedriger Intensität zu erkennen. Bei Ereignissen hoher Intensität ist bei ca. 30% Vegetationsbedeckung ein deutlicher Rückgang des Oberflächenabflusses zu verzeichnen, wohingegen Ereignisse niedriger Intensität grundsätzlich niedrigere Werte zeigen und eine Vegetationsbedeckung ab ca. 40% kaum noch Oberflächenabfluss zulässt. Beim Sedimentaustag (s. Abb. 2.5) zeigt sich der Effekt der Vegetation bei Ereignissen niedriger Intensität deutlicher (FRANCIS & THORNES 1990: S. 380ff.). SEEGER (2007: S. 9) betont jedoch, dass eine Reduktion der Geomorphodynamik erst ab Bedeckungsgraden von über 60% erreicht wird. Er unterstreicht die starke Bedeutung des Bedeckungsgrades der Vegetation, obwohl auch innerhalb der verschiedenen Bedeckungsgrade eine hohe Variabilität der Ergebnisse zu verzeichnen ist. Den Grund für die Variabilität der Ergebnisse über alle Bedeckungsgrade hinweg vermutet er in den unterschiedlichen Pflanzentypen.

Die Vegetationsbedeckung ist ihrerseits von verschiedenen Aspekten abhängig. HIDALGO et al. (1990) untersuchten im Ebrobecken den Zusammenhang von Vegetationsbedeckung, Hangneigung, Exposition und anthropogenem Einfluss. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass das Vorhandensein und die räumliche Verteilung von geomorphodynamischen Prozessen im Wesentlichen von zwei Gegebenheiten abhängt (HIDALGO et al. 1990: S. 411):

- (1) Art und Bedeckungsgrad der Vegetation und
- (2) das Vorhandensein von Ackerland mit jahreszeitlich wechselnden Bedeckungsgraden

Als für die Art und Dichte der Vegetation wichtigsten Faktor identifizierten sie die Topographie. Sie steuert durch die Exposition den Bodenwassergehalt sowie davon abhängige Werte, wie Gehalt an organischem Material, Durchwurzelung und Mikroklima. Der Einfluss der Exposition überlagert nach HIDALGO et al. (1990: S. 412) sogar den Einfluss der Hangneigung, da selbst steilere, aber nord- bzw. nordostexponierte Hänge keine signifikanten geomorphologischen Prozesse oder Prozessspuren aufweisen (HIDALGO et al. 1990: S. 409), wohingegen süd- bis west orientierte Hänge deutlich höhere Aktivität aufweisen (SOLÉ-BENET et al. 1997: S. 37).

KIRKBY et al. (1990) untersuchten ebenfalls den Zusammenhang zwischen Exposition, Vegetationsbedeckung und Prozessen der Bodenerosion und kamen grundsätzlich zu ähnlichen Ergebnissen wie HIDALGO et al. (1990). Allgemein ist bei dieser Untersuchung der Unterschied zwischen nördlicher und südlicher Exposition als stärkstem Gegensatz betrachtet worden. Die Ergebnisse der Modellierung unterstreichen den starken Einfluss der Exposition. Somit kann festgehalten werden: Auf südlich exponierten Hängen ist aufgrund der Sonneneinstrahlung eine höhere potentielle Evapotranspiration und verstärkter Oberflächenabfluss zu erwarten (HIDALGO et al. 1990: S. 415), so dass diese Hänge eine der Hauptquellen für erodiertes Sediment

darstellen (PUIGDEFABREGAS et al. 1999: S. 59). Im Gegensatz dazu kann für nordexponierte Hänge ein höherer Anteil der Biomasse (Bodenorganik, Vegetation, größere Diversität) angenommen werden (KIRKBY et al. 1990: S. 33).

2.5.2 Landwirtschaft

In landwirtschaftlich genutzten Bereichen ist der entscheidende Nachteil in Bezug auf Bodenerosion die Unbedecktheit des Bodens über weite Teile des Jahres oder mehrere Jahre hinweg (DE SANTISTEBAN et al. 2006: S. 504). Zudem erreichen die Nutzpflanzen während der Frühjahrsniederschläge nur geringe Bedeckungsgrade und während der herbstlichen Niederschläge sind die Felder oft bereits abgeerntet. Eine Folge dieses Zustands ist verstärkte Bodenerosion durch Wasser und Wind (KOSMAS et al. 1997: S. 46), die durch Terrassierung der Flächen vermindert werden soll. Die Terrassierung von landwirtschaftlichen Flächen in Hanglagen quer zum Gefälle verkürzt die erosive Hanglänge, wodurch der Bodenabtrag gesenkt werden kann (SCHWERTMANN et al. 1987: S. 37; MORGAN 1999: S. 164). Da die Anlage von Terrassen arbeitsaufwändig und damit teuer ist, wird sie eher bei ertragreichen Nutzpflanzen angewandt und seltener bei Getreide (ROTHER 1993: S. 133). Die Topographie bedingt unterschiedliche vorherrschende geomorphodynamische Prozesse. Ackerflächen in Hanglagen sind aufgrund der zeitlich variablen geringen Bedeckung durch Nutzpflanzen v. a. von *splash*-Erosion, flächenhaftem Abtrag und bei ausreichender Hanglänge auch linienhaften Erosionsformen betroffen. Terrassierung wirkt den eben genannten Formen entgegen, dennoch sind auch Terrassen von Erosion, wenn auch in geringerem Maße (HAMMAD et al. 2006: S. 46), betroffen. Zum einen findet weiterhin *splash*-Erosion statt, zum anderen wird durch den Höhenunterschied zwischen den Terrassen ein hydraulischer Gradient erzeugt, wodurch *piping*-Prozesse die Terrassenkanten unterhöhlen und zum Einsturz bringen können (ROMERO DÍAZ et al. 2007: S. 291).

Die genannten geomorphodynamischen Prozesse auf Ackerflächen verursachen einen hohen Arbeitsaufwand (bzw. hohe Kosten) zur Erhaltung bspw. von Terrassenkanten. Weiterhin vergibt die EU seit Anfang der 90er Jahre Flächenstilllegungsprämien (RIES 2000: S. 37; RIES 2003: S. 16), was einen weiteren Anreiz zum Offenlassen wenig rentabler und wartungsintensiver Flächen bietet. Die Stilllegung von Flächen hat klare Auswirkungen auf die Geomorphodynamik. Pflege und Bearbeitung (Pflügen, Eggen, Walzen) der Flächen finden nicht mehr statt, so dass sich Schlammkrusten bilden, die die Infiltration herabsetzen und Oberflächenabfluss verstärken. Eine Vegetationssukzession auf diesen Flächen wird dadurch ebenfalls erschwert (RIES 2003: S. 16), so dass in der Folge zusätzlich linienhafte Erosionsprozesse die Flächen angreifen können (RUIZ-FLAÑO et al. 1992: S. 307). Auf terrassierten Flächen ist *piping* ein wesentlicher Prozess, der verlassene Flächen bedroht (ROMERO DÍAZ et al. 2007: S. 291; BRYAN & JONES 1997: S. 212f.).

3 Untersuchungsgebiete

In diesem Kapitel werden zunächst die Untersuchungsgebiete mit ihrer naturräumlichen Ausstattung vorgestellt. In den Unterkapiteln erfolgt eine kurze Einführung in die Umgebung der *gullies* und eine im Projekt „MoGul“ durch Fr. Dr. Marzolff erarbeitete Darstellung der Flächenveränderung jedes *gullies*.

3.1 Nordspanien

Die beiden Untersuchungsgebiete in Nordspanien María de Huerva (MDH) und Barranco Rojo (BR) liegen südwestlich von Zaragoza im Tal der Huerva, einem südlichen Zufluss des Ebro (s. Abb. 3.1).



Abb. 3.1: Untersuchungsgebiete.

Im Ebrobecken stehen tertiäre Ablagerungen von Karbonaten, Evaporiten und Geröll- bzw. Schuttfazies an. Wichtigste Gesteine der Region sind Kalkstein, Mergel, Gips, salzige Gesteine, Sandsteine und Konglomerate (SORIANO 1989: S. 357). Mächtige erosionsresistentere

Kalkschichten bilden die für die Landschaft charakteristischen „*plataformas estructurales*“, zu denen auch die Plana de Zaragoza gehört. Wo sie abgetragen sind, schließt sich an die Hochfläche eine von Ausliegern und Zeugenbergen dominierte Landschaft an. Von den *badland*-artigen Hängen leiten durch einen Hangknick Glacisflächen zu den Talböden über (RIES 2000: S. 48). Diese Täler (span. *vales*) bilden den landschaftlichen Gegensatz zu den Strukturformen der Gipsserien und Kalkbänken. Sie werden heute landwirtschaftlich genutzt und sind hauptsächlich von *gully*-Erosion betroffen (SORIANO 1989: S. 357).

Das Ebrobecken ist von drei Gebirgszügen (Pyrenäen, Iberisches Randgebirge, Katalanisches Küstengebirge) umschlossen, was einen starken Einfluss auf die klimatischen Verhältnisse der Region hat (LAUTENSACH 1964: S. 359). Das Klima ist semi-arid und in den Sommermonaten ist mit extremen Wetterlagen zu rechnen (SORIANO 1989: S. 357). Die Verteilung der Jahresniederschläge ist extrem ungleichmäßig. So haben die Monate Mai, September und Oktober höhere Niederschlagssummen, während in den übrigen Monaten selten über 30 mm Niederschlag erreicht werden (LAUTENSACH 1964: 359). An der den beiden Untersuchungsgebieten nächsten Klimastation Botorrita, die seit 1991 in Betrieb ist, beträgt der seither gemessene Jahresniederschlag durchschnittlich 260 mm/a und die Jahresmitteltemperatur 14,8°C. An der etwa 18 km entfernten Station Zaragoza-Aeropuerto, die seit 1941 in Betrieb ist, wird ebenfalls die Jahresmitteltemperatur mit 14,8°C angegeben. Jedoch sind hier die Niederschläge mit 322 mm/a deutlich höher als in Botorrita (CHEbro 2007), was auf Enge im Huervatal zurückzuführen ist. Das Klima ist stark kontinental geprägt und weist eine hohe Temperaturamplitude auf. Nach der Klassifikation von KÖPPEN & GEIGER ist es ein trockenkaldes Steppenklimate (BSk), das durch seine tiefen Wintertemperaturen das Vorhandensein typischer mediterraner Vegetation wie Mandeln oder Ölbäumen verhindert (RIES 2000: S. 52).

Die potentiell natürliche Vegetation, eine artenarme offene Waldsteppenformation, ist heute auf die Arten des Unterwuchses dieser Vegetationsformation reduziert. *Lygeum spartum*, *Artemisia herba-alba* und *Genista spec.* sind Beispiele für diese degradierten Strauchformationen, die in stark schwankenden Bedeckungsgraden die Landschaft prägen (RIES 2000: S. 54).

In der **Provinz Zaragoza** waren 2005 mit 55% mehr als die Hälfte der Landesoberfläche unter landwirtschaftlicher Nutzung. Unter forstwirtschaftlicher Nutzung waren 25%, als Grün- und Weideland wurden 2% genutzt (s. Abb. 3.2). Die Landwirtschaft in der Provinz Zaragoza hat sich seit 1988 stark gewandelt. Insgesamt ist ein Anstieg der landwirtschaftlichen Nutzfläche sowohl beim Trockenfeldbau als auch beim Bewässerungsfeldbau zu verzeichnen. Flächenstilllegungsprämien der EU (BARRÓN et al. 1994: S. 261) förderten das Auflassen von Flächen, so dass in den Jahren zwischen 1988 und 2005 fast 100.000 ha Brachflächen hinzukamen. Leider werden die normalen Rotationsbrachen des Trockenfeldbaus nicht von endgültig aufgelassenen Flächen unterschieden. Obwohl die gesamte landwirtschaftlich genutzte

Fläche in diesem Zeitraum um 44.606 ha zunahm, büßten hauptsächlich die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen (Getreide) an Fläche ein. Die Brachflächen nahmen 2005 mit 36,4% mehr als 1/3 der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein (s. Tab. 3.1).

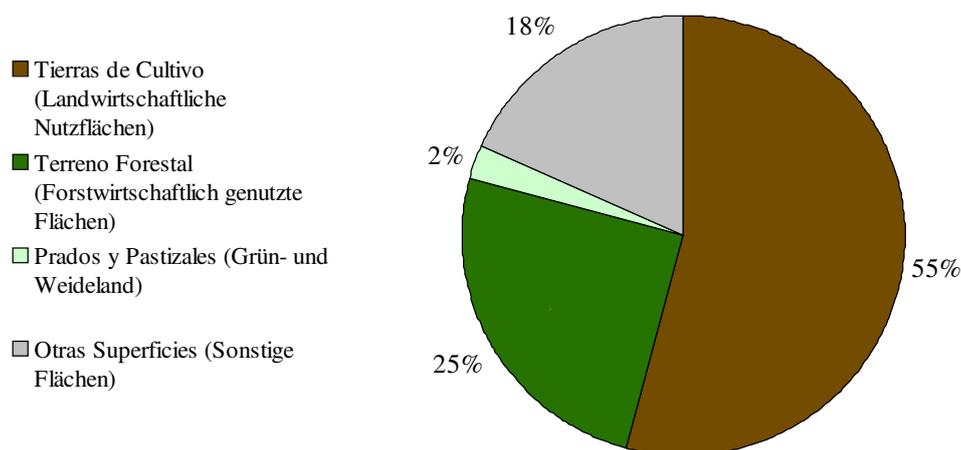


Abb. 3.2: Prozentuale Verteilung der Landbedeckung in der Provinz Zaragoza 2005 (Eigene Darstellung nach IAEST 2007).

Tab. 3.1 Anteile der Nutzungsformen an der landwirtschaftlichen Fläche in der Provinz Zaragoza in ha (Eigene Darstellung nach IAEST 2007).

	Zaragoza 1988 [ha]	Zaragoza 2005 [ha]	Differenz [ha]	Anteil an der landwirtschaftlichen Fläche 2005 [%]
<i>Tierras de cultivo</i> (Landwirtschaftliche Nutzflächen)	891.320	935.926	44.606	100
<i>Cultivos herbáceos de secano</i> (Landwirtschaftliche Kulturpflanzen im Trockenfeldbau)	358.869	311.663	-47.206	33,3
<i>Barbechos y otras tierras no ocupadas en secano</i> (Brachen und nicht genutzte Flächen im Trockenfeldbau)	241.464	341.244	99.780	36,4
<i>Cultivos leñosos de secano</i> (Dauerkulturen im Trockenfeldbau)	106.776	89.707	-17.069	9,6
TOTAL SECANO	707.133	742.614	35.481	79,4
<i>Cultivos herbáceos de regadío</i> (Landwirtschaftliche Kulturpflanzen im Bewässerungsfeldbau)	150.794	134.203	-16.591	14,3
<i>Barbechos y otras tierras no ocupadas en regadío</i> (Brachen und nicht genutzte Flächen im Bewässerungsfeldbau)	4.029	3.779	-250	0,4
<i>Cultivos leñosos de regadío</i> (Dauerkulturen im Bewässerungsfeldbau)	29.346	55.330	25.984	6
TOTAL REGADÍO	184.187	193.312	9.125	20,6

Im Huervatal sind der Anbau von Gerste im Trockenfeldbau (*campo secano*) sowie die stationäre bzw. in Transhumanz gehaltenen Schafe und Ziegen charakteristisch für die landwirtschaftliche Nutzung.

3.1.1 Standort María de Huerva

Der *gully* María de Huerva (MDH) entwickelte sich in der Talfüllung des Val de las Lenas, welches ein Seitental des Río Huerva ist. Der *gully* ist ca. 4 km von der Ortschaft María de Huerva entfernt. Der *headcut* befindet sich z. Zt. am Rand der holozänen Talfüllung im Übergang zu den Ausliegern der Kalk- und Gipsserien. Die schützende Deckschicht, die die Plana de Zaragoza bildet, ist hier bereits abgetragen, so dass drei landschaftliche Einheiten im Einzugsgebiet des *gullies* MDH unterschieden werden können: Die erste Einheit sind die teilweise sehr steilen, nur dünn bedeckten Hänge der Gips- und Kalkserien, in denen erosionsresistentere Schichten Stufen ausbilden. Die zweite Einheit sind die mit Hangschutt bedeckten Pedimente und Glacis, die ohne deutlichen Gefälleunterschied in die dritte Einheit, das verfüllte Lenas-Tal, übergehen, in dem der Schwerpunkt der Landnutzung stattfindet. Aktuell ist der Bereich um den *gully* jedoch nicht mehr landwirtschaftlich genutzt. Im direkten Umfeld des *headcuts* befindet sich eine alte Brache, die in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts zuletzt bewirtschaftet wurde, weiter östlich schließt sich eine wesentlich jüngere Brache an, die 2005 zuletzt gepflügt wurde (s. Foto 3.1).

Der *gully* MDH wird bereits seit elf Jahren photogrammetrisch beobachtet. Am *headcut*, dem aktivsten Bereich, zeigt sich eine sehr geringe, jedoch kontinuierliche Entwicklung in nordöstliche Richtung (s. Abb. 3.3). Die *retreat*-Rate (Rate der Rückverlegung) des *headcuts* beträgt 0,07 m/a, die Flächenzunahme im gesamten Monitoring-Zeitraum beträgt 4,2 m².



Foto 3.1: Blick aus dem Einzugsgebiet von *gully* María de Huerva in das quer zur Blickrichtung verlaufende Lenas-Tal. Im Vordergrund und am rechten Bildrand sind die dünn bedeckten Hänge zu sehen. In der Bildmitte die Hangschuttbereiche (dichtere Vegetation) und dahinter der *gully*, der sich bereits in der holozänen Talfüllung befindet. In der direkten Umgebung des *gullies* befindet sich die ältere Brache, links davon die jüngere.

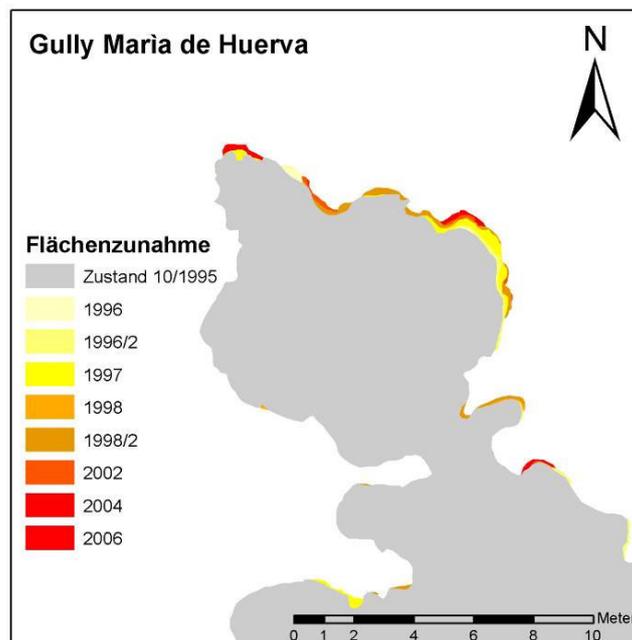


Abb. 3.3: Flächenzunahme des *headcuts* am *gully* María de Huerva im Beobachtungszeitraum 1995-2006.

3.1.2 Standort Barranco Rojo

Der *gully* Barranco Rojo (BR) liegt ca. 3 km von der Ortschaft Botorrita entfernt und schneidet sich in die holozäne Talfüllung ein. Von den vorgestellten *gullies* ist der *gully* BR eine Besonderheit, da er nicht den Seitenarm einer Rambla oder eines Tales darstellt, sondern in die unterhalb des *gullies* gelegenen Ackerflächen übergeht. Im EZG des *gullies* können auch hier mehrere landschaftliche Einheiten unterschieden werden: Der höchste Punkt des EZGes ist ein Auslieger der Hochfläche (Plana de Zaragoza, s.o.); er zeigt, teilweise in Überhängen, die Wechsellagerung von Gipsen, Kalken und Mergeln. Die roten Tonsteine, die die Basis der Gips- und Kalksteinbereiche bilden (RIES 2000: S. 48), treten hier im Liegenden zu Tage und bilden das steile Pediment, das auf die holozäne Talfüllung überleitet. Bei den im EZG aufragenden Erhebungen handelt es sich um Reste tertiärer Ablagerungen, die flach in Richtung Huerva einfallen und sich mit Bereichen holozäner Talfüllung abwechseln (s. Foto 3.2, 3.3).

Der *gully* BR konnte seine Fläche am *headcut* im Beobachtungszeitraum von 2002-2006 um 14,8 m² erweitern. Die Weiterentwicklung fand im Wesentlichen zwischen 2002 und 2004 statt. Die Flächenzunahme erfolgte durch die Erweiterung von *piping*-Löchern, die durch rückschreitende Erosion und subterrane Prozesse vergrößert wurde und später zusammengewachsen sind (s. Abb. 3.4).



Foto 3.2: Blick in den oberen Teil des Einzugsgebiets des Barranco Rojo. Im Hintergrund der Auslieger der Hochfläche, an den sich das steile Pediment anschließt. Rechts im Bild der *gully* Barranco Rojo, der von terrassierten Feldern gesäumt ist, die in der holozänen Talfüllung angelegt wurden.



Foto 3.3: Blick vom Ausliegerberg in das von Landwirtschaft geprägte Huervatal. In der Bildmitte ist der Barranco Rojo zu sehen, im Bildvordergrund das steile, geringbedeckte Pediment. Einzeln aufragende Erhebungen (links des *gullies*) sind Reste tertiärer Ablagerungen.

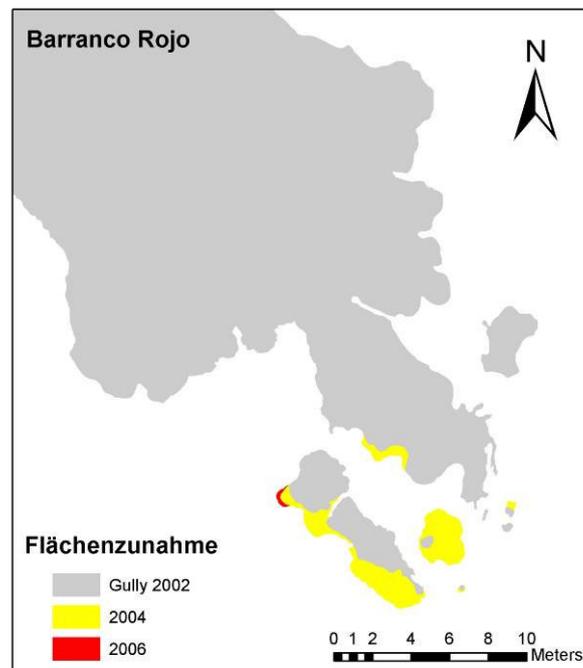


Abb. 3.4: Flächenzunahme des *headcuts* am *gully* Barranco Rojo im Beobachtungszeitraum 2002-2006.

3.2 Südspanien

Die südspanischen Untersuchungsgebiete liegen teilweise in der in Andalusien gelegenen Hoya de Baza (Provinz Granada; Standorte Freila, Negratín, Casablanca) und teilweise in der Region Murcia (Provinz Lorca; Standorte Salada und Luchena) in der Cuenca del Guadalentín. (s. Abb. 3.1)

Für die Region Los Vélez, wie diese Grenzregion zwischen Andalusien und Murcia genannt wird, sind hohe Gebirgszüge (Sierra de Baza, Sierra de María, Sierra del Gigante, Sierra del Pericay) charakteristisch. Die sie aufbauenden Gesteine gehören zur Betischen Zone, die ihrerseits ein Teil der Betischen Kordillere ist. Wichtige Gesteine sind triassische Kalksteine und Dolomite (Sierra de Baza) sowie jurassische Kalksteine und Dolomite (Sierra de María, Sierra del Gigante, Sierra del Pericay) (IGME 1970). Umsäumt sind diese Gebirgszüge mit ausgedehnten Pediment- und Glacisflächen, die für diese Landschaft prägend sind (SCHÜTT 2001: S. 21ff.).

DÍAZ-HERNÁNDEZ & JULIÁ (2006: S. 469) unterscheiden an der Hoya de Baza, einem intramontanen Becken innerhalb der Betischen Kordillere, sechs Flächenniveaus (Glacis), die durch tektonische Prozesse verstellt wurden und leicht in nördliche Richtung einfallen. Hier sind nur die ersten vier Niveaus von Bedeutung, da sie in der Umgebung des Negratín-Stausees an der Hoya de Baza zu finden sind. Die höchstgelegene, direkt an die Sierra de Baza anschließende Fläche (S_1), wird intensiv landwirtschaftlich genutzt. Sie ist ausgesprochen flach und fällt nur leicht Richtung Norden ein. Charakteristisches Merkmal sind sog. „*petrocalcic horizons*“. Die nächst tiefergelegene Glacisfläche mit einem gering entwickelten „*petrocalcic horizon*“ (S_2) ist nur schlecht erhalten. Reste der Fläche kommen bspw. südlich des ost-west-verlaufenden Negratín-Stausees in der Umgebung der Standorte Negratín 1 und Negratín 3 vor. Das S_3 -Glacisniveau entstand durch Erosion der S_2 -Glacisfläche und hat nur eine geringe räumliche Ausdehnung. Die S_4 -Fläche hat im Bereich des Negratín-Stausees die größte räumliche Ausdehnung und ist durch ein dichtes Gewässernetz und ein *badland*-artiges Relief gekennzeichnet. Die dortige Zerschneidung des Reliefs greift hier bereits die höhergelegenen Flächen S_3 und S_2 an. Auf allen Flächenniveaus haben sich prä-holozän tiefe *barrancos* eingeschnitten, die im Holozän mit Sediment verfüllt wurden. Diese wurden erneut zerschnitten und es bildete sich das aktuelle Niveau der Talböden (DÍAZ-HERNÁNDEZ & JULIÁ 2006: S. 468ff.).

An der Cuenca del Guadalentín wird die Umgebung durch den Gebirgszug der Sierra del Pericay bestimmt, der aus jurassischen Kalken und Dolomiten aufgebaut ist. Die von Pedimenten bestimmten Tiefenbereiche sind teilweise mit verschiedenfarbigen ungeordneten Mergeln des Keuper bzw. Kalkmergeln und Kalken der Kreidezeit sowie tertiären Mergeln und Konglomeraten gefüllt. Die quartären Ablagerungen, in die sich zahlreiche *gullies* an der Rambla

Salada einschneiden, sind in Tiefenlinien einer früheren Einschneidungsphase entwickelt und vorwiegend siltig-lehmig. Dadurch sind sie nur schwer von den sie umgebenden tertiären Mergeln zu unterscheiden. Das Material zeichnet sich besonders durch seine hohe Erodibilität aus (OOSTWOUD WIJENES et al. 2000: S. 149; IGME 1970).

Das Klima Südostspaniens ist semi-arid mit sehr hohen Temperaturen und einer zweigeteilten Regenphase im Frühjahr und Herbst. Die Niederschläge in dieser Region liegen meist unter 300 mm/a und haben eine hohe zeitliche Variabilität (SCHÜTT 2001: S. 24). Starkregen sind typisch für Südostspanien und sind oft für den Großteil des Jahresniederschlages verantwortlich. Das Zusammenspiel von langen Trockenperioden und Starkregenereignissen, die eine hohe hydrologische und geomorphologische Wirksamkeit haben, ist kennzeichnend für Südostspanien (SCHÜTT 2001: S. 25).

An der Station Zújar, die ca. 5 km vom Standort Freila an der Hoya de Baza entfernt ist, wurden im Zeitraum von 2002 bis 2007 291 mm Niederschlag pro Jahr und eine Durchschnittstemperatur von 14,7°C gemessen. In diesem Zeitraum konnte jedoch nur an 25% aller Tage überhaupt Niederschlag gemessen werden. Der höchste Wert liegt bei 44,6 mm und wurde am 29.03.2004 gemessen (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía 2005).

An der Station Murcia wurden zwischen 1955 und 2005 280 mm Niederschlag pro Jahr gemessen, wobei der Unterschied zwischen dem feuchtesten Jahr (1972: 546 mm/a) und dem trockensten Jahr (1999: 132,9 mm/a) die Variabilität der Niederschläge verdeutlicht. Aufgrund der Höhenlage der Station Murcia (62 m ü. NN) ist die Jahresmitteltemperatur mit 18,5°C vergleichsweise hoch (Comunidad Autónoma de la Region de Murcia 2006). Die Werte für die den nahe der Standorte an der Rambla Salada gelegenen Ort Zarcilla de Ramos geben OOSTWOUD WIJENES et al. (2000: S. 150) mit 276 mm/a sowie einer Mitteltemperatur von 14,9°C an.

Die Vegetation Südostspaniens ist stark durch die klimatischen Verhältnisse eingeschränkt. Hohe Temperaturen und lange Trockenzeiten lassen selten dichtere Vegetation zu, so dass Südspanien ein „weithin offenes Land mit Steppen- und Halbwüstencharakter“ ist (SCHÜTT 2001: S. 32) (s. Kap. 2.4.1).

In der **Provinz Granada** sind mit 49% knapp die Hälfte der Landesoberfläche in landwirtschaftlicher Nutzung, 23% werden forstwirtschaftlich genutzt und 11% werden als Grün- und Weideland genutzt. 17% entfallen auf sonstige Oberflächen wie Bauwerke und Straßen (s. Abb. 3.5).

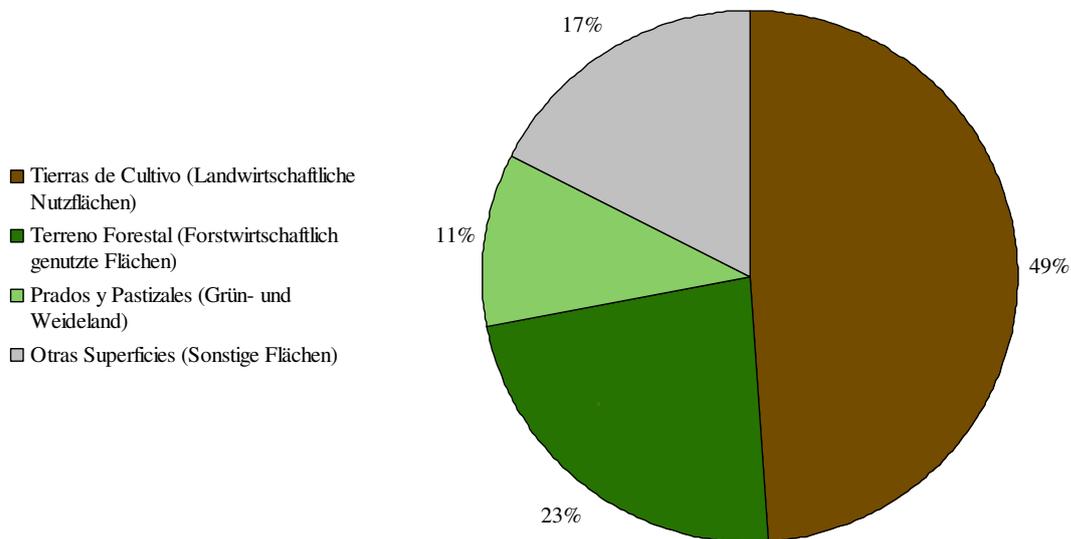


Abb. 3.5: Prozentuale Verteilung der Landbedeckung in der Provinz Granada 2005 (Eigene Darstellung nach Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía 2004).

Ein großer Teil der landwirtschaftlichen Nutzflächen wird auch hier im Trockenfeldbau genutzt. Der Anstieg der Nutzflächen zwischen 2000 und 2004 (+17.994 ha) liegt etwa auf dem gleichen Niveau wie die Zunahme der Brachen (+ 17.357 ha), die 2004 30% der landwirtschaftlichen Nutzfläche ausmachten. Größere Veränderungen gab es bei den bewässerten Flächen, wo eine Flächenzunahme stattfand (+15.514 ha). Im Gegensatz zur Provinz Zaragoza sind hier große Flächenanteile an Dauerkulturen (Oliven, Mandeln) und dafür geringere an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen (u.a. Getreide) zu verzeichnen (s. Tab. 3.2) wofür die höheren Temperaturen in der Region verantwortlich sind.

Tab. 3.2: Anteile der Nutzungsformen an der landwirtschaftlichen Fläche in der Provinz Granada in ha (Eigene Darstellung nach Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía 2004).

	Granada 2000 [ha]	Granada 2004 [ha]	Diferenz [ha]	Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche Granadas 2004 [%]
<i>Tierras de cultivo</i> (Landwirtschaftliche Nutzflächen)	599.536	617.533	17.994	100
<i>Cultivos herbáceos de secano</i> (Landwirtschaftliche Kulturpflanzen im Trockenfeldbau)	113.825	113.972	147	18,5
<i>Barbechos y otras tierras no ocupadas en secano</i> (Brachen und nicht genutzte Flächen im Trockenfeldbau)	152.490	155.047	2.557	25,1
<i>Cultivos leñosos de secano</i> (Dauerkulturen im Trockenfeldbau)	213.643	213.377	-266	34,6
TOTAL SECANO	479.958	482.396	2.438	78,1
<i>Cultivos herbáceos de regadío</i> (Landwirtschaftliche Kulturpflanzen im Bewässerungsfeldbau)	52.765	46.216	-6.549	7,5
<i>Barbechos y otras tierras no ocupadas en regadío</i> (Brachen und nicht genutzte Flächen im Bewässerungsfeldbau)	17.938	33.738	15.800	5,5
<i>Cultivos leñosos de regadío</i> (Dauerkulturen im Bewässerungsfeldbau)	48.875	55.138	6.263	9
TOTAL REGADÍO	119.578	135.092	15.514	21,9

In der **Provinz Lorca** ist der Anteil der forstwirtschaftlich genutzten Flächen deutlich höher (32%) als in den anderen betrachteten Provinzen, wohingegen der Anteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen mit 46% der geringste ist (s. Abb. 3.6). Ursache ist das hier sehr steile Relief, wodurch Oberhänge meist mit Wäldern bestanden sind und nicht weiter genutzt werden.

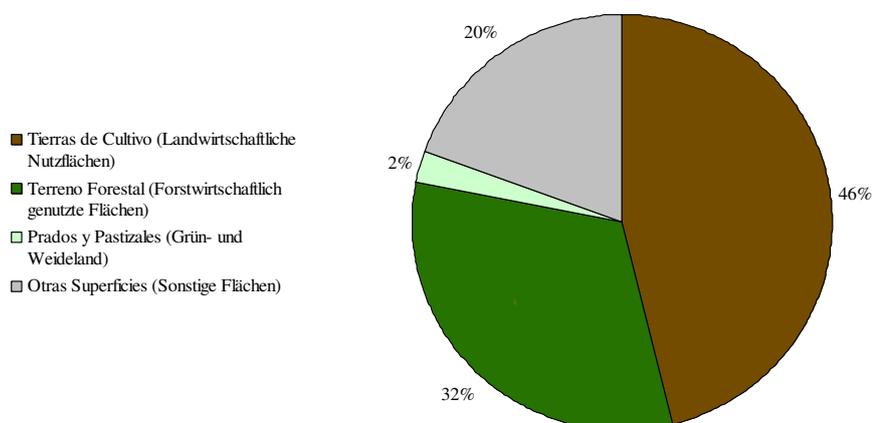


Abb. 3.6: Prozentuale Verteilung der Landbedeckung in der Provinz Lorca 2005 (Eigene Darstellung nach Comunidad Autónoma de la Región de Murcia 2005).

In der mit 167.700 ha kleinsten der Betrachteten Provinzen Lorca gab es zwischen 2000 und 2005 keine wesentlichen Veränderungen in der Agrarstruktur. Die Verringerung der mit landwirtschaftlichen Kulturpflanzen bestandenen Flächen und der Brachen ging zu Gunsten der Dauerkulturen wie Mandeln oder Oliven. Trotz des gesunkenen Anteils der Brachen, die auch hier nicht nach endgültiger Auflassung der Flächen bzw. Rotationsbrachen unterschieden werden, waren 2005 53,4% der landwirtschaftlichen Fläche ungenutzt (s. Tab. 3.3). An der Cuenca del Guadalentín sind vor allem die langgezogenen Pedimente mit Weizen (*cultivos herbáceos*) und Mandeln (*cultivos leñosos*) bestanden. Für deren Ausweitung der letzten Jahre mussten meist Matorralbestände weichen (OOSTWOUD WIJDENES et al. 2000: S. 150).

Tab. 3.3: Anteile der Nutzungsformen an der landwirtschaftlichen Fläche in der Provinz Lorca in ha (Eigene Darstellung nach Comunidad Autónoma de la Región de Murcia 2005).

	Lorca 2000 [ha]	Lorca 2005 [ha]	Differenz [ha]	Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche Lorcas 2005 [%]
<i>Tierras de cultivo</i> (Landwirtschaftliche Nutzflächen)	77.294	77.294	0	100
<i>Cultivos herbáceos</i> (Landwirtschaftliche Kulturpflanzen)	22.183	20.723	-1460	26,8
<i>Barbechos y otras tierras no ocupadas</i> (Brachen und nicht genutzte Flächen)	44.057	41.263	-2794	53,4
<i>Cultivos leñosos</i> (Dauerkulturen)	11.053	15.308	4255	19,8

3.2.1 Standort Freila (FR)

Der Standort Freila liegt ca. 3 km vom Ort Baza entfernt in der wellig-hügeligen *badland*-Landschaft der Hoya de Baza (s. Foto 3.4) innerhalb der S₄-Einheit (DÍAZ-HERNÁNDEZ & JULIÁ 2006: S. 469). Südlich der EZGe der *gullies* Freila-A und Freila-B ist ein Inselberg gelegen, der aus triassischen Kalken und Mergeln aufgebaut ist und genetisch der Sierra de Baza angehört. Ein nahegelegener Steinbruch sowie die Modernisierung der am südlichen Rand des EZGes gelegenen Straße sind Grund für die Aufschüttung einer Schutthalde, die den südlichen Teil des EZGes von FR-A bedeckt. Ansonsten ist der Standort geprägt von der ehemaligen Ackernutzung der Flächen. Alte Terrassenkanten, Pflugspuren und die von Rosmarin dominierten Zwergsträucher in unterschiedlichen Bedeckungsgraden zeugen von vor längerer Zeit aufgegebener landwirtschaftlicher Nutzung.



Foto 3.4: Der Wechsel unterschiedlich dichter Zwergstrauchbestände und einzelner Horstgrasflächen ist charakteristisch für die *badland*-artige Umgebung am Standort Freila. Der *gully* Freila-A (schwarzer Pfeil) verläuft aus Richtung Stausee zur rechten Bildmitte, der *gully* Freila-B (roter Pfeil) im rechten Winkel dazu. Im Hintergrund der Negratfn-Stausee.

Der *gully* selbst ist langgestreckt und zieht sich in südlicher Richtung den Hang hinauf. Er ist stufenartig entwickelt, so dass sich im Verlauf flachere und steilere Bereiche abwechseln. Die Stufen bilden härtere Sedimentschichten und mehrere gemauerte Kanten, die rechtwinklig zum *gully*-Verlauf angeordnet sind. Vom nord-süd-orientierten Hauptarm greifen mehrere Seitenarme nahezu rechtwinklig dazu hauptsächlich die westlich gelegenen Bereiche an.

Der Untersuchungsstandort Freila ist, wie schon beschrieben, in zwei EZGe unterteilt. Ebenso wird die *headcut*-Entwicklung der *gullies* FR-A und FR-B getrennt betrachtet. Der Haupt-*headcut* des schmalen, langgezogenen *gullies* FR-A entwickelte sich im Beobachtungszeitraum nur sehr gering (+ 2,92 m²). Ein etwa 70 m *gully*-abwärts mündender Seiten-*headcut* (s. Abb. 3.7) konnte dagegen 10,81 m² hinzugewinnen und steht aufgrund seiner größeren Aktivität bei der Interpretation der Ergebnisse im Kapitel 5.3 im Fokus der Betrachtung.

Der Teil-*gully* Freila-B konnte im Beobachtungszeitraum inklusive der vorgelagerten *piping*-Löcher eine Flächenzunahme von 3,59 m² erreichen (s. Abb. 3.8).

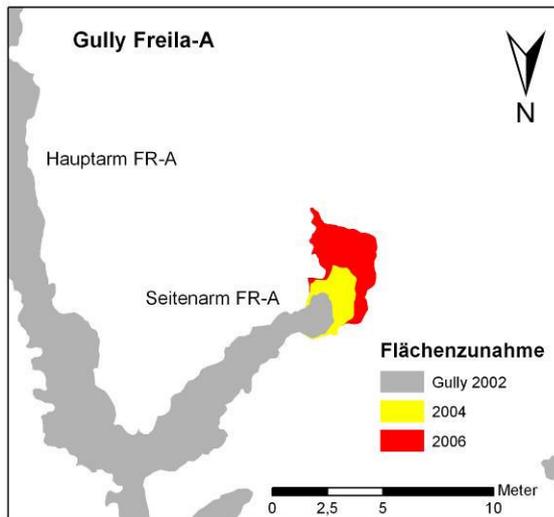


Abb. 3.7: Flächenzunahme des Seiten-headcuts am gully Freila-A im Beobachtungszeitraum 2002-2006.

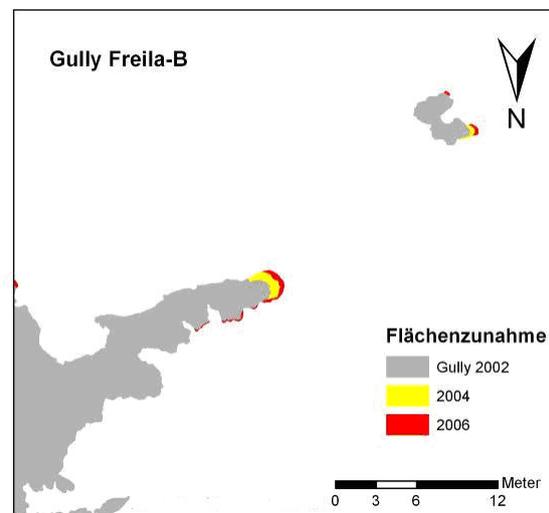


Abb. 3.8: Flächenzunahme des headcuts am gully Freila-B im Beobachtungszeitraum 2002-2006.

3.2.2 Standort Negratín

Die gullies NE1 und NE3 liegen wenige Kilometer westlich des Standortes Freila ebenfalls in unmittelbarer Nähe zum Negratín-Stausee. Die Umgebung von NE1 ist außergewöhnlich flach und fällt nur leicht in Richtung Stausee ab. Hier handelt es sich um Reste der S₂-Fläche (s. oben), die hier erhalten sind. Die Umgebung von NE3 ist flachwellig und fällt schwach in Richtung Stausee ein. Bei den gullies NE1 und NE3 konnte im Beobachtungszeitraum keine Flächenzunahme des gullies am headcut beobachtet werden.

3.2.3 Standort Casablanca

Der gully Casablanca befindet sich wenige Kilometer südwestlich der eben genannten Standorte und liegt ca. 5 km südwestlich des Ortes Gorafe. Das EZG umfasst eine Steilstufe aus kambrischen Glimmerschiefern und Quarziten (IGME 1970), von der der Steilhang in eine flach zur Rambla Casablanca abfallende Fläche übergeht (s. Foto 3.5).

Der gully Casablanca, der in die Rambla Casablanca mündet, ist in zwei Arme unterteilt, die sich beide im Beobachtungszeitraum nur wenig weiterentwickelt haben. Insgesamt konnte der gully in vier Jahren 4,85 m² an Fläche hinzugewinnen. Schwerpunkt der Entwicklung war der nord-nordöstlich-gerichtete Arm, der am gesamten Rand eine Vergrößerung erfahren hat, während am Seitenarm nur zwischen 2004 und 2006 an wenigen Stellen eine Flächenzunahme stattgefunden hat (s. Abb. 3.9).



Foto 3.5: Im Bildhintergrund bilden die flachlagernden kambrischen Gesteine eine Hochfläche, von der sich unterschiedlich geneigte Flächen zur Rambla Casablanca hinunterziehen. Die Rambla verläuft im Bild etwa von der rechten, oberen Bildmitte zur linken, unteren Bildmitte.

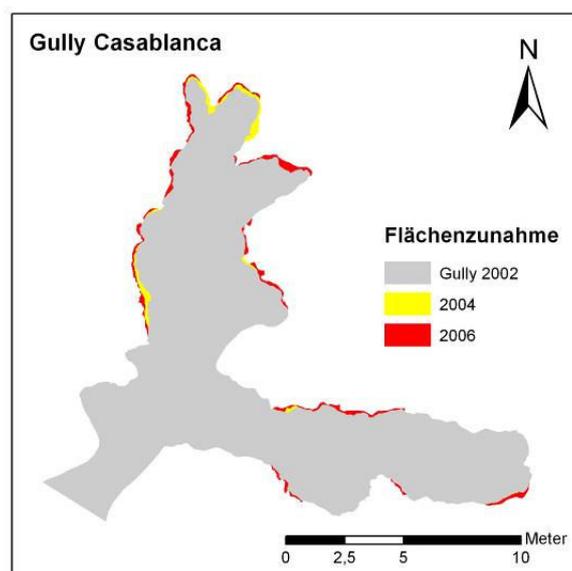


Abb. 3.9: Flächenzunahme des *gullies* Casablanca im Beobachtungszeitraum 2002-2006.

3.2.4 Standort Salada/Luchena

Die *gullies* Salada 1 (SA1), Salada 3 (SA3) und Salada 4 (SA4) münden allesamt in die Rambla Salada. Die schon angesprochene starke Nutzung der Bereiche durch Mandel- (*cultivos leñosos*) bzw. Weizenanbau (*cultivos herbáceos*) an der Rambla Salada ist hauptsächlich bei den *gullies* SA1 und SA4 von Bedeutung. Ungenutzte und schlecht zugängliche Bereiche sind an der Rambla Salada meist mit dem Horstgras *Stipa tenacissima* und Zwergstrauchbeständen unterschiedlicher Dichte bestanden.

Der *gully* SA1 ist der aktivste dieser Untersuchung. Im Beobachtungszeitraum von 1998-2006 konnte der *gully* im *headcut*-Bereich 274,5 m² an Fläche hinzugewinnen. Zwischen 1998 und 2004 fand vor allem am westlichen (*piping*-Loch) und am nördlichen Rand eine Entwicklung statt (165,5 m²). Schwerpunkt der Entwicklung waren die Jahre 1998 bis 2002 (s. Abb. 3.10). Ein weiterer Beleg für die hohe Entwicklungsdynamik sind neben den Veränderungskartierungen die zahlreichen Versuche der Landwirte, die Entwicklung zu stoppen.

Ebenfalls im Zeitraum 1998-2004 kam es primär im nördlichen Bereich zu Auffüllungen des *gullies* mit Bauschutt und Sperrmüll, die jedoch der *gully*-Weiterentwicklung nicht entgegenwirken konnten. Zwischen 2004 und 2006 wurde der *headcut*-Bereich des *gullies* mit Bodenmaterial aus der Umgebung verfüllt, so dass eine Fläche von 723 m² am *headcut* zurückgewonnen werden konnte (s. Abb. 3.11). Aktuell wird diese Verfüllung, die planiert und als Damm aufgeschüttet wurde, durch tiefe Risse und *piping*-Prozesse angegriffen.

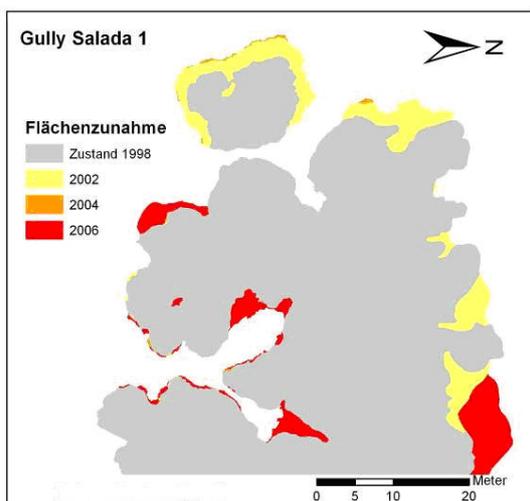


Abb. 3.10: Flächenzunahme des *headcuts* am *gully* Salada 1 im Beobachtungszeitraum 1998-2006.

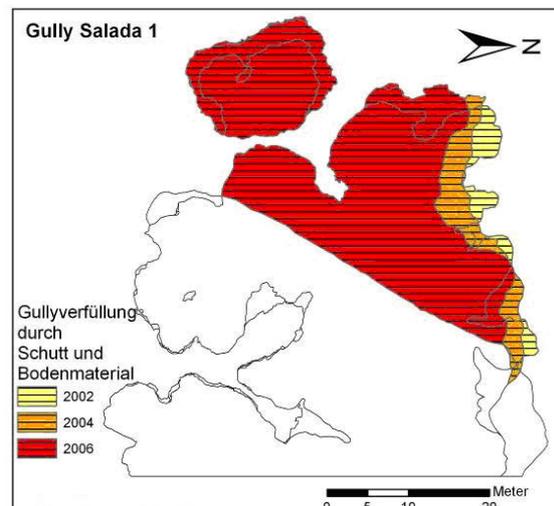


Abb. 3.11: Flächenabnahme des *headcuts* am *gully* Salada 1 im Beobachtungszeitraum 1998-2006.

Der *gully* SA3 hat sich zwischen 1998 und 2006 in nahezu allen Bereichen weiterentwickelt. Der Gesamtflächenzuwachs in diesem Zeitraum beträgt 20,39 m². Während sich bis 2004 schwerpunktmäßig der *headcut* weiterentwickelt hat, kam es zwischen 2004 und 2006 v. a. an den Seitenwänden durch Massenbewegungen zu einer Erweiterung (s. Abb. 3.12). *Gully*-vergrößernde Prozesse sind hier rückschreitende Erosion und Massenbewegungen.

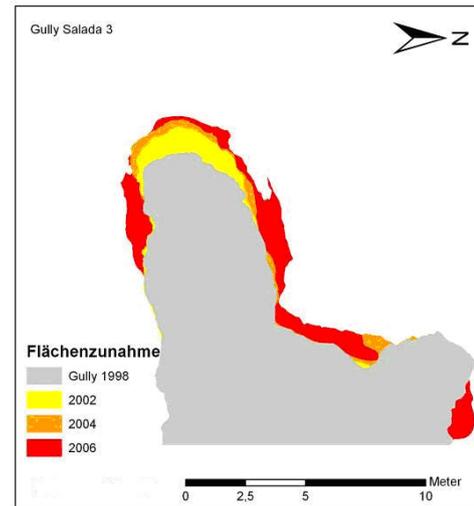


Abb. 3.12: Flächenzunahme des *headcuts* am *gully* Salada 3 im Beobachtungszeitraum 1998-2006.



Foto 3.6: Mandelhain im Einzugsgebiet von Salada 1. Im Vordergrund das trockene Bett der Rambla Salada, etwa in der Bildmitte der *headcut* (Pfeil) am Mandelhain.

Der *gully* Luchena (LU) befindet sich an einem Prallhang der Rambla Salada auf einer von der Rambla angeschnittenen Fläche. Die Flächenzunahme des *gullies* Luchena beträgt im Zeitraum von 1998-2006 insgesamt 10,3 m². Einen wesentlichen Anteil daran hat ein abgebrochener Sedimentblock. Ansonsten wird der *gully* durch rückschreitende Erosion und *piping*-Prozesse v. a. am *headcut* erweitert (s. Abb. 3.13).

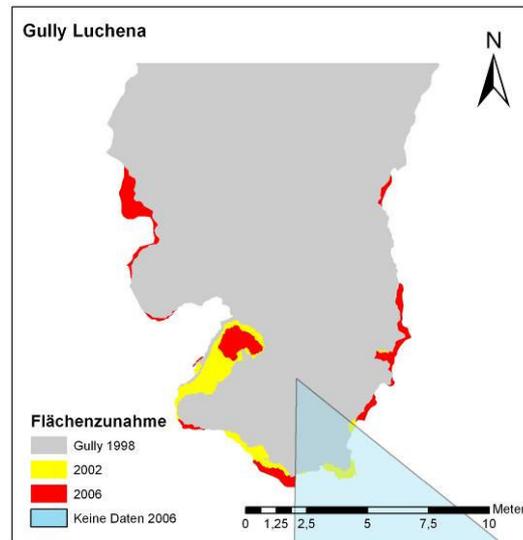


Abb. 3.13: Flächenzunahme des *headcuts* am *gully* Luchena im Beobachtungszeitraum 1998-2006.

3.3 Entwicklung der *gullies*

In Tab. 3.4 sind die im Projekt MoGul untersuchten *gullies* nach ihrer Aktivität aufgelistet. Der aktivste der beobachteten *gullies* ist der *gully* SA1 mit dem mit Abstand höchsten Flächenzuwachs während des Monitorings (+ 34,31 m²/a), gefolgt von BR (+3,7 m²/a). Keine oder eine nur sehr geringe Flächenerweiterung konnten die *gullies* NE1, NE3 und SA4 erreichen. Die Monitoring-Bereiche sind in den Karten in Anhang 2 eingetragen.

Tab 3.4: MoGul-gullies nach durchschnittlichem jährlichen Zuwachs der Fläche am *headcut*.

Gully	Lithologie	Region	Monitoring-Jahre	Zuwachs während des Monitoring-Zeitraums [m ²]	Zuwachs/Jahr [m ²]
Salada 1 (SA1)	holozäne Talfüllung	Lorca, Südspanien	8	274,5	34,31
Barranco Rojo (BR)	holozäne Talfüllung	Zaragoza, Nordspanien	4	14,8	3,7
Freila A (FR A)	holozäne Talfüllung	Baza, Südspanien	4	10,81 (Seitenheadcut)	2,7
Salada 3 (SA3)	holozäne Talfüllung	Lorca, Südspanien	8	20,39	2,54
Luchena (LU)	holozäne Talfüllung	Lorca, Südspanien	8	10,3	1,29
Casablanca (CA)	holozäne Talfüllung	Baza, Südspanien	4	4,85	1,21
Freila B (FR B)	holozäne Talfüllung	Baza, Südspanien	4	3,59	0,9
María de Huerva (MDH)	holozäne Talfüllung	Zaragoza, Nordspanien	11	4,2	0,38
Salada 4 (SA4)	holozäne Talfüllung	Lorca, Südspanien	8	0	0
Negratín 1 (NE1)	holozäne Talfüllung/ Glacis	Baza, Südspanien	4	0	0
Negratín 3 (NE3)	holozäne Talfüllung	Baza, Südspanien	4	0	0

4 Material und Methoden

4.1 Datengrundlagen

Grundlagen der Kartierung der verschiedenen EZGe sind Luftbilder, die von den jeweiligen Regierungen der Regionen bereitgestellt werden.

Aragón. Die Kartiergrundlagen für die EZGe im Valle de Huerva (MDH, BR) sind projekteigene Luftbilder von 1986, die von der Regierung der Region Aragón bereitgestellt wurden. Der Ausgabemaßstab ist 1: 30.000.

Andalusien. Die Kartiergrundlagen für die EZGe an der Hoya de Baza (FR, NE1, NE3, CA) sind Befliegungen zwischen 2001 und 2003, die im Maßstab 1: 20.000 aufgenommen wurden. Der Ausgabemaßstab ist 1: 5.000. Die Luftbilder können auf der Seite <http://desdeelcielo.andaluciajunta.es> abgerufen werden.

Murcia. Die Kartiergrundlage für die EZGe an der Cuenca del Guadalentín (SA1, SA3, SA4, LU) werden im Maßstab 1: 5.000 ausgegeben. Die Luftbilder können auf der Seite <http://www.cartomur.com/carto/SgdNavigator/SgdNavigator.dll> abgerufen werden.

4.2 Aufnahmen im Gelände

4.2.1 Einmessung der Einzugsgebiete

Das EZG jedes *gullies* ist mit dem Leica GS20 GPS-Empfänger eingemessen worden. Zu Beginn der Vermessung an der Mündung des *gullies* wird in einer ca. drei- vierminütigen Messung ein *initial static point* erfasst, an dem sich die folgenden Messungen orientieren, um eine höhere Genauigkeit zu erzielen. In der *kinematic Phase* wird nun automatisch in einem festgelegten Abstand (Zeit oder Strecke) ein Punkt gesetzt. Für die Einmessung der EZGe entlang der Wasserscheide ist ein Punktabstand von 2 m gewählt worden.

Sämtliche Messungen mit dem GPS sind im Koordinatensystem „WGS 1984“ durchgeführt worden. Nachdem die Daten anhand der mitgelieferten Software in das shapefile-Format von ArcMap umgewandelt worden sind, konnten die Daten im GIS in das für Spanien gültige Koordinatensystem „ED1950 Zone 30N“ konvertiert werden. Die Genauigkeit der Messungen liegt im günstigsten Fall im Bereich von > 5 m (Leica Geosystems 2004).

4.2.2 Kartierung der Landbedeckung

Die Landbedeckung wurde als eigenständige Karte im Maßstab 1:2.500 bzw. 1:1.500 erstellt. Wesentliches Merkmal der Legendeneinheiten ist zunächst die Unterscheidung in durch Vegetation bedeckte und landwirtschaftlich genutzte Bereiche. Die *gullies* als Untersuchungsgegenstand wurden nicht weiter differenziert.

Vegetation. Die Vegetation, die in den EZGen von Zwergsträuchern und Horstgräsern (s. Kap. 2.4.1) bestimmt wird, wird nun nach ihrer Wuchsform in Zwergstrauchbestände und Horstgrasbestände unterschiedlicher Bedeckungsgrade/-klassen unterteilt (s. Tab. 4.1).

Tab. 4.1: Klassen der Vegetation in den Einzugsgebieten.

Kürzel der Klasse	Name	Wichtige Arten
ZS20	Zwergsträucher bis unter 20 % Bedeckung	<i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Genista scorpius</i> ; vereinzelt auch: <i>Lygeum spartum</i> , <i>Stipa tenacissima</i>
ZS50	Zwergsträucher 20 bis unter 50 % Bedeckung	<i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Genista scorpius</i> ; vereinzelt auch: <i>Lygeum spartum</i> , <i>Stipa tenacissima</i> , <i>Brachypodium retusum</i> sowie verschiedene Flechten und Moose
ZS80	Zwergsträucher 50 bis 80 % Bedeckung	<i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Genista scorpius</i> ; vereinzelt auch: <i>Lygeum spartum</i> , <i>Stipa tenacissima</i> , <i>Brachypodium retusum</i> sowie verschiedene Flechten und Moose
HGO	Horstgräser – offen	<i>Lygeum spartum</i> (Nordspanien), <i>Stipa tenacissima</i> (Südspanien) sowie einzelne Zwergsträucher; bei älteren Brachen auch <i>Artemisia herba-alba</i>
HGD	Horstgräser - dicht	<i>Lygeum spartum</i> (Nordspanien), <i>Stipa tenacissima</i> (Südspanien) sowie einzelne Zwergsträucher, Flechten und Moose

Zwergsträucher. Die Landbedeckungsklasse Zwergsträucher wurde in den Abstufungen bis unter 20% (ZS20), 20 bis unter 50% (ZS50) und 50 bis 80% (ZS80) kartiert. Die vorkommenden Hauptarten sind mit unterschiedlichen Schwerpunkten Ginster (*Genista scorpius*), Rosmarin (*Rosmarinus officinalis*), Thymian (*Thymus vulgaris*) und v. a. in Nordspanien *Artemisia herba-alba*. In geringer Anzahl kommen auch Horstgräser (*Lygeum spartum*, *Stipa tenacissima*) auf diesen Flächen vor.



Foto 4.1: Unterschiedliche Bedeckungsgrade an einem mit Zwergsträuchern bedeckten Hang in Nordspanien.

Horstgräser. Die im Vergleich zu den Zwergsträuchern recht stabilen und standfesten Horstgräser bilden die zweite Einheit der aktuell nicht anthropogen genutzten Bereiche. Unterschieden wird hier ebenfalls nach Bedeckungsgrad in offen (HGO) bzw. dicht (HGD) stehende Horstgräser (s. Foto 4.2, 4.3).

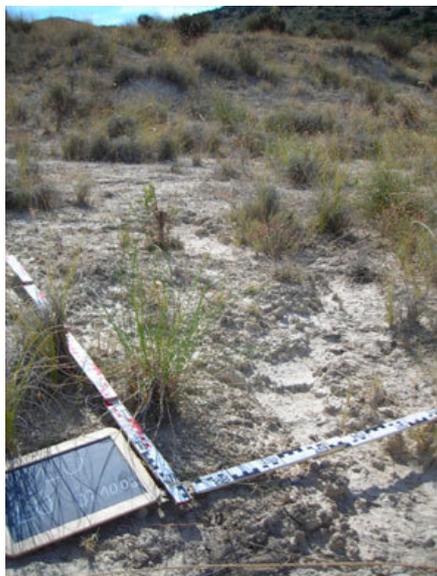


Foto 4.2: Offene Horstgrasvegetation.



Foto 4.3: Dichte Horstgrasvegetation.

Landwirtschaftliche Flächen. Bei den landwirtschaftlich genutzten Bereichen ist die Art der Nutzung das Unterscheidungsmerkmal. Die mit Ackerland – Trockenfeldbau (AT) gekennzeichneten Flächen werden in der Getreidebrachwirtschaft genutzt, die auf wechselnden Flächennutzungen basiert (Weidebrache, Trockenbrache, Getreideanbau). Eine Unterscheidung in dreijährigen Flächenwechsel (*cultivo al tercio*) bzw. zweijährigen Flächenwechsel (*cultivo año y vez*) findet nicht statt. Dauerkulturen, die ebenfalls im Trockenfeldbau genutzt werden, werden mit Ackerland – Dauerkultur (AD) bezeichnet. Nutzflächen, die in den letzten 10-15 Jahren aufgegeben wurden, werden mit Ackerland – Brache (AB) bezeichnet.

Tab. 4.2 Klassen der landwirtschaftlich genutzten Bereiche.

Kürzel der Klasse	Name	Nutzung
AT	Ackerland – Trockenfeldbau	Cultivo año y vez oder cultivo al tercio; Gerste, Weizen, etc.
AD	Ackerland – Dauerkultur	Permanente Nutzung mit Mandeln oder Oliven
AB	Ackerland – Brache	In jüngerer Zeit aufgegebene Flächen

Ackerland. In dieser Legendeneinheit sind alle landwirtschaftlich genutzten Flächen vertreten. Charakteristische Eigenschaften sind der jahreszeitlich wechselnde Bedeckungsgrad der Nutzpflanzen, regelmäßige Bodenbearbeitung durch die Landwirte sowie ein oder zwei Brachejahre, die auf jedes Nutzungsjahr folgen (AT). Die mit AD bezeichneten Flächen werden ganzjährig zum Anbau von Mandeln oder Oliven genutzt. Außer den in Reihen angeordneten Oliven- bzw. Mandelbäumen (s. Foto 4.4) fehlt sonstige Vegetation völlig, so dass die regelmäßig bearbeitete Oberfläche vegetationsfrei ist.



Foto 4.4: Dauerkultur (Mandeln, Oliven) an der Rambla Salada.

Sonstige Klassen

Tab. 4.3: Sonstige Bedeckungsklassen in den Einzugsgebieten.

Kürzel der Klasse	Name	Erläuterung
KVB	Keine Vegetationsbedeckung oder Nutzung	Bereiche ohne Vegetationsbedeckung oder landwirtschaftliche Nutzung
STR/WEG	Asphaltierte Straßen und unbefestigte Wege	Straßen und Wirtschaftswege in den Einzugsgebieten
PA	Pinien-Aufforstung	Bereiche, in denen aktuell oder in jüngerer Vergangenheit Pinien gepflanzt wurden
SH	Schutthalde	Bereich(e) von Abraumhalden von Steinbrüchen
SW	Steilwand	Extrem steile Bereiche ohne Vegetationsbedeckung oder landwirtschaftlicher Nutzung

Neben der Vegetationsbedeckung bzw. Landnutzung wurden im Gelände auf für die jeweiligen Klassen beispielhaften Flächen (ca. 1 m²) noch weitere charakteristische Merkmale (Steinbedeckung, Krustenbedeckung, Unterwuchs, Neigung, Exposition) der Flächen aufgenommen.

4.2.3 Kartierung der aktuellen Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Die beiden Aspekte „aktuelle Geomorphodynamik“ und „Oberflächenformen“ wurden in getrennten Ebenen unabhängig voneinander, aber in Abstimmung untereinander, kartiert. Die Legendeneinheiten der beiden Ebenen sind dem Kartierschlüssel von LESER & STÄBLEIN (1978: S. 79-90) entnommen.

Der Aspekt „aktuelle Geomorphodynamik“ enthält relevante Legendeneinheiten des Unterpunktes „Geomorphologische Prozesse“ von LESER & STÄBLEIN (1978: S. 79-90), wobei der Grundsatz der Kartierung das Prinzip des letzten dominierenden Prozesses ist (RIES 2000: S. 125). In die Legende aufgenommen und kartiert wurden die für Bodenerosion durch Wasser (s. Kap. 2.2) wichtigen Teile der Legende (s. Tab. 4.4). Aufgenommene Hauptrubriken sind bei den Oberflächenformen die Unterpunkte:

- Täler und Tiefenlinien (s. Tab. 4.5)
- Kleinformen und Rauheit (s. Tab 4.6)
- Stufen, Kanten und Böschungen (s. Tab 4.7)

Die für die Kartierung verwendeten Luftbilder (s. 4.1) wurden auf die Maßstäbe 1:2.500 bis 1:1.500 vergrößert. Die Kartierung wurde am Standort María de Huerva konzipiert und erfolgte in allen EZGen in dem genannten Maßstabsbereich. Das Vorkommen linearer Elemente (Rillenspülung, Pflugspuren, Tiefenlinien) in hoher Dichte erforderte eine Aggregation der Formen und Prozesse in diesen Reliefbereichen, so dass die insbesondere in Kap. 6 genannten Werte für Rillenspülung nicht im Gelände gemessene absolute Werte darstellen, sondern vielmehr eine Tendenz andeuten.

Tab. 4.4: Verwendete Signaturen für aktuelle Geomorphodynamik.

Signatur	Bezeichnung
	Rillenspülung*
	flächenhafter Abtrag
	Sedimentation
	<i>Piping</i>
	Pflugfurchen

Fortsetzung Tab. 4.4

	Viehtritt
	Sackung
	Steinschlag
	Motocrosstrail
	Unterspülung

*Die Signatur Rillenspülung wurde im Sinne des englischen Begriffs rill erosion (s. Kap. 2.2.2) verwendet.

Tab. 4.5: Verwendete Signaturen für Tiefenlinien.

Signatur	Bezeichnung
	muldenförmige Tiefenlinie
	kerbförmige Tiefenlinie
	kastenförmige Tiefenlinie

Tab. 4.6: Verwendete Signaturen für Kleinformen und Rauheit.

Signatur	Bezeichnung
	Grat
	Kuppe
	Sporn

Tab. 4.7: Verwendete Signaturen für Stufen und Kanten.

Stufenhöhe	Grundrissbreite	
	1-5 m	> 5-10m
0-1 m		
> 1-5 m		
> 5-20 m		

4.2.4 Bodenproben

Um die Eigenschaften der Bodenoberflächen an den verschiedenen Standorten im Hinblick auf Bodenerosion und Oberflächenabflussbildung in Verbindung mit der Landbedeckung einschätzen zu können, wurden auf unterschiedlichen Landbedeckungsklassen Bodenoberflächenproben (oberste 5 cm unter der Geländeoberfläche) entnommen und im Labor untersucht (s. Kap. 4.3.1).

4.3 Auswertung

4.3.1 Labormethoden

Die Beschreibung der Labormethoden folgt EMDE & SZÖCS (2000: S. 24ff.).

Probenvorbereitung. Die Proben wurden mindestens eine Woche bei 30°C im Trockenschrank luftgetrocknet. Danach wurde eine repräsentative Teilmenge entnommen.

Korngrößenanalyse. Die Zusammensetzung der Korngrößen des Feinbodens wurde nach DIN 19683, Blatt 1 & 2 über Nasssiebung und Pipettanalyse nach KÖHN ermittelt (KRETZSCHMAR 1996: S. 371ff.). Aufgrund der hohen Gipsgehalte im Untersuchungsgebiet María de Huerva wurden die Proben vor der Analyse mehrmals mit H_2O_{dest} gewaschen (USDA 1996: S. 623f.).

Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}). Um den Gehalt an organischem Kohlenstoff zu ermitteln, wurde die Methode des Glühverlustes angewandt. Je Probe wurden 2 g Feinboden eingewogen und im Trockenschrank auf 105°C erhitzt, um Poren- und Kristallwasser zu entfernen. Danach erfolgte eine Abkühlung und Wiegen des Bodens. Nun wurde der Boden im Muffelofen auf 550°C erhitzt, wobei der organische Kohlenstoff verbrennt. Die Gewichts Differenz zwischen 105°C und 550°C ergibt den Gehalt an organischem Kohlenstoff.

pH-Wert. Im Labor wurde der aktuelle pH-Wert bestimmt. Es wurden 10 g Feinboden mit 25 ml destilliertem Wasser versetzt und gemischt. Danach erfolgte die Messung des pH-Wertes mit einem pH-Meter über die elektrische Spannung.

4.3.2 Verschlammungsneigung

Mit den im Labor ermittelten Daten ist es möglich, Werte zur Verschlammungsneigung abzuleiten. Hierfür wurde der Index zur Abschätzung des Risikos der Krustenbildung (IRFC) nach REMY & MARIN-LAFLÈCHE (1974) verwendet:

$$\text{IRFC} = \frac{(1,5 \cdot (fU + mU) + 0,75 \cdot gU)}{(T + (10 \cdot C_{\text{org}})) - C} - C$$

wobei: $C = 0$, wenn pH-Wert ≤ 7

$C = 0,2 \cdot (\text{pH-Wert} - 7)$, wenn pH-Wert > 7

U = Schluff; T = Ton, f = fein, m = mittel, g = grob

In der Formel werden der Schluffanteil des Feinbodens nach Fein-, Mittel- und Grobschluff getrennt dem Tongehalt und dem Gehalt an organischem Kohlenstoff gegenübergestellt. Je höher der Schluff- und je kleiner der Ton- bzw. C_{org} -Anteil, desto höher der Wert. Der pH-Wert spielt keine besondere Rolle für das Ergebnis. Nur bei stark basischen Böden verringert sich der Wert dadurch. Die vollständigen Ergebnisse der Sedimentanalysen finden sich in Anhang 1.

4.3.3 Digitalisierung der Kartierung und Verschneidung der Layer in ArcMap

Ziel ist es herauszufinden, ob durch die beiden mit ArcMap digitalisierten Kartierungen für „aktuelle Geomorphodynamik“ und „Landbedeckung“ Rückschlüsse auf das Vorkommen und die Intensität von geomorphodynamischen Prozessen auf den verschiedenen Landbedeckungsklassen gezogen werden können. Dazu werden die beiden Layer in ArcMap verschnitten.

Durch die *intersect*-Funktion in ArcMap (*ArcToolbox/Analysis/Overlay/Intersect*) können für lineare Elemente (Rillenspülung) quantitative Aussagen zum Vorkommen auf den verschiedenen Landbedeckungsklassen gemacht werden (m/ha). Für punkthaft kartierte Elemente (z.B. flächenhafter Abtrag, Viehtritt, Sedimentation) können dagegen qualitative Aussagen („wurde auf dieser Landbedeckungsklasse kartiert“ oder „wurde nicht auf dieser Landbedeckungsklasse kartiert“) gemacht werden.

Bei einer Verschneidung werden die ausgewählten Attribute eines flächenhaften Layers (bspw. ZS20) mit einem linienhaften Layer (bspw. „aktuelle Geomorphodynamik“) oder einem Attribut des Layers (bspw. „Rillenspülung“) in einem neuen Layer, der die Eigenschaften der

Eingangslayer kombiniert, gespeichert. Verschneidungen sind nur abwärtskompatibel, d.h. aus der Verschneidung eines flächenhaften und eines linienhaften Layers kann nur ein linienhafter Layer entstehen. Das linienhafte Element hat dann die Eigenschaften (Attribute) der Eingangslayer (Landbedeckung/aktuelle Geomorphodynamik) (s. Abb. 4.1, Tab. 4.8).

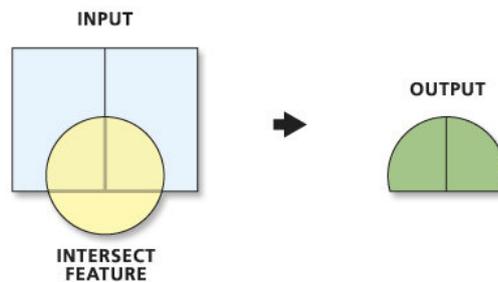


Abb.4.1: Schematische Darstellung der *intersect*-Funktion (aus der Hilfedatei) in Arc Map. Durch Kombination der Features (hellblau, beige) entsteht ein neues Feature (grün), das die Eigenschaften der Eingangslayer kombiniert.

Tab. 4.8: Beispiel für die Verschneidung von Layern in ArcMap.

Vor der Verschneidung		Nach der Verschneidung	
Layer	Attribute	Neuer Layer	Attribute
Aktuelle Geomorphodynamik	Rillenspülung (Linie)	Intersection of aktuelle Geomorphodynamik & Landbedeckung	Rillenspülung; Horstgräser offen (Linie)
Landbedeckung	Horstgräser – offen (Fläche)		

5 Ergebnisse I: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik in den Einzugsgebieten

Die Größen der EZGe der *gullies* unterscheiden sich deutlich. Das kleinste EZG LU ist etwa 200 mal kleiner als das größte EZG MDH (s. Abb. 5.1). Auch die Flächen der *gullies* unterscheiden sich erheblich. Der größte untersuchte *gully* MDH ist etwa 140 mal größer als der kleinste *gully* FR-B. Bei den Anteilen der *gully*-Flächen an ihrem eigenen EZG ergibt sich ebenfalls ein sehr inhomogenes Bild. Während am Standort NE1 der *gully* bereits fast 1/3 des EZGes einnimmt, sind es sonst generell weniger als ein 1/5 (s. Tab 5.1).

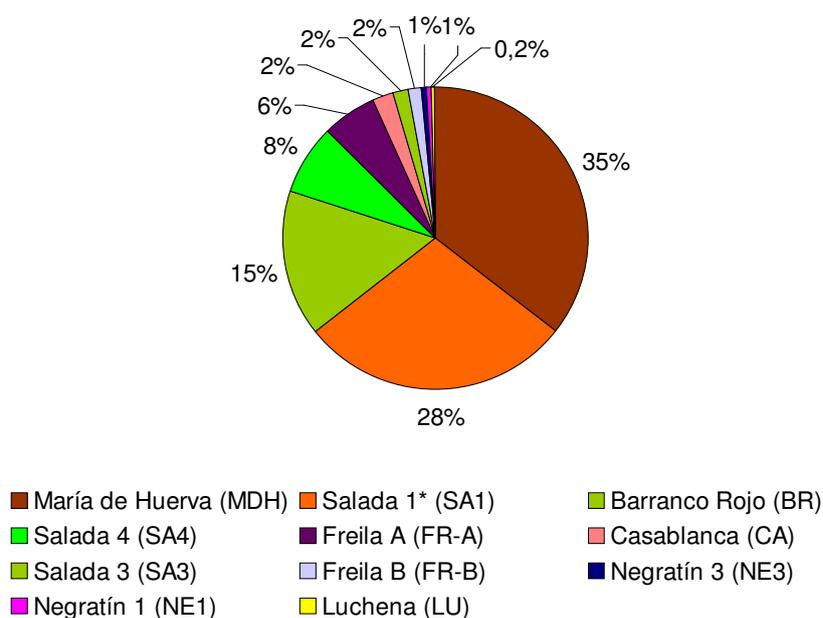


Abb. 5.1: Vergleich der Einzugsgebiets-Größen. Die vier größten Einzugsgebiete (MDH, SA1, BR, SA4) nehmen alleine 86% der Gesamtfläche (86 ha) aller untersuchten Einzugsgebiete ein (* = Erläuterung im Text).

Tab. 5.1: Einzugsgebiets- und *gully*-Größen nach Größe des Einzugsgebietes.

<i>Gully</i>	Einzugsgebietsgröße [ha]	Fläche des Gullies [ha]
María de Huerva (MDH)	30,7	1,5
Salada 1* (SA1)	24,7	1,1
Barranco Rojo (BR)	13,7	1,4
Salada 4 (SA4)	6,6	0,49
Freila A (FR-A)	5,0	0,20
Casablanca (CA)	1,9	0,019
Salada 3 (SA3)	1,4	0,067
Freila B (FR-B)	1,3	0,011
Negratín 3 (NE3)	0,48	0,087
Negratín 1 (NE1)	0,45	0,14
Luchena (LU)	0,15	0,025

* = Teileinzugsgebiet (Erläuterung im Text).

5.1 Gully María de Huerva

Der *gully* MDH (s. Foto 5.1) hat mit 30,7 ha das größte EZG sowie mit 1,5 ha die größte *gully*-Fläche aller untersuchten Standorte. Aufgrund der großen räumlichen Ausdehnung des EZGes ist hier eine Teilung in zwei Bereiche zweckmäßig. Unterschieden wird in einen Bereich nördlich der Straße (exklusive des keilförmigen, mit HGO bestandenen Bereichs) und einen Bereich südlich der Straße, in dem sich auch der *gully* befindet (s. Abb. 5.2, 5.3). Das EZG des *gullies* zeigt keinen

deutlichen Schwerpunkt bei den Bedeckungsklassen. Den höchsten Anteil am EZG hat die Klasse ZS20 gefolgt von der Klasse HGD. Diese beiden gegensätzlichen Klassen nehmen zusammen 50% des EZGes ein. Die weiteren Klassen haben Anteile von ca. 10% oder darunter (s. Abb. 5.4). Nur 9% des 30 ha großen EZGes ist oder war in Nutzung (Klassen AB, AT).

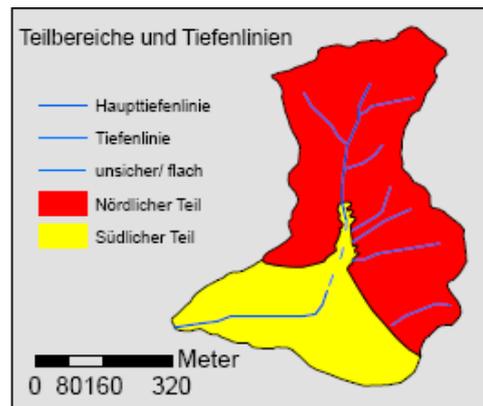


Abb. 5.2: Teilbereiche des Einzugsgebietes von María de Huerva.



Foto 5.1: Der headcut des *gullies* María de Huerva (MoGul-Luftbild).

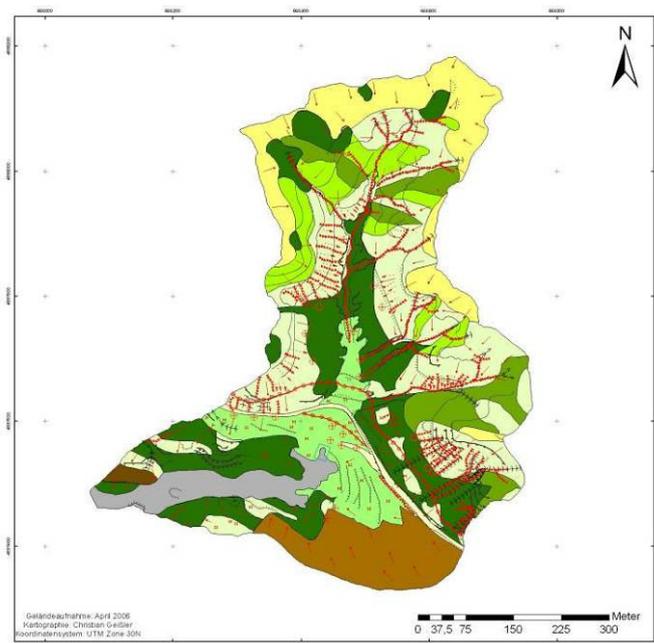


Abb. 5.3: Karte des Einzugsgebietes von María de Huerva (Größere Darstellung mit Legende in Anhang 2, Karte 1).

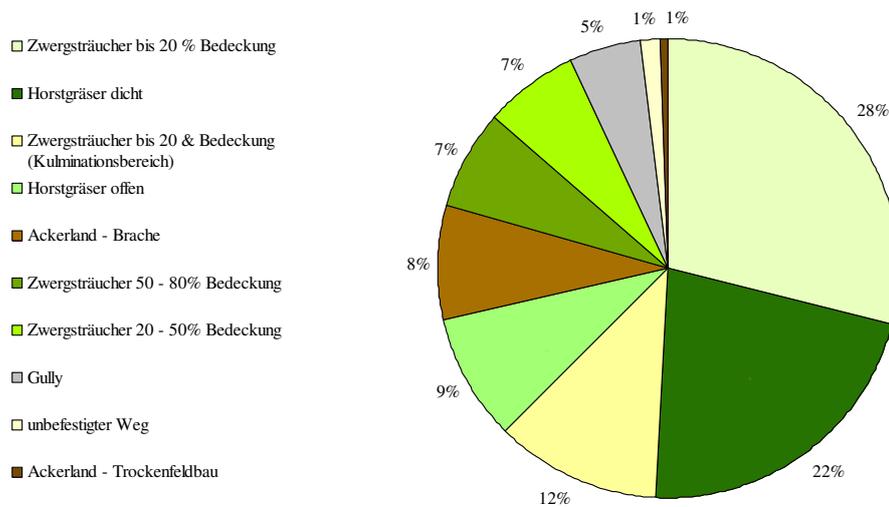


Abb. 5.4: Flächenverteilung im Einzugsgebiet von María de Huerva.

5.1.1 Landbedeckung

Der nördliche Teil gehört geologisch zu den miozänen Kalk- und Gips-Wechsellagerungen (s. Kap. 3.1) und wurde, abgesehen von extensiver Beweidung in talnahen Bereichen, nicht landwirtschaftlich genutzt. In diesem stärker reliefierten Teil sind fast ausschließlich Zwergstrauchbestände unterschiedlicher Bedeckungsgrade sowie dichte Horstgrasvegetation vorhanden. Der Kulminationsbereich an der EZGs-Grenze ist nur schwach mit Zwergsträuchern und einzelnen Horstgräsern bestanden, wurde aber wegen seiner sehr geringen Hangneigung als eigene Kartiereinheit aufgenommen. Ansonsten dominiert im nördlichen Teil die Klasse ZS20 das Landschaftsbild, die sich vorwiegend auf südlich bis westlich orientierten Hängen wiederfindet. Die dichten Horstgrasbestände am Hangfuß bilden einen Gegensatz zu den dünn bedeckten Zwergstrauchbereichen. Hier liegen besonders dichte und schütterere Vegetation räumlich nahe beieinander. Die Klasse HGD konnte auch in geschützten Bereichen an Oberhängen im nördlichen Teil-EZG kartiert werden. Das darunterliegende lössähnliche, gelbliche Substrat lässt äolische Genese vermuten, was aber nicht eindeutig bestätigt werden konnte.

Im Gegensatz zum nördlichen Teil ist der südliche Teil nur schwach geneigt. An der östlichen Grenze liegt eine Ackerbrache (AB). Im direkten Anschluss daran befindet sich eine mit HGO bestandene Fläche, zu der auch der erwähnte Keil gehört, der sich nördlich der Straße befindet. Charakteristisch für diese Fläche ist der krautige Unterwuchs aus Gräsern, wie er auch auf ähnlichen Flächen am BR (s. Kap. 5.2) zu finden ist. In diese Fläche schneidet sich der *gully* aktuell ein und hat aufgrund der rückschreitenden Erosion bereits Terrassenkanten

durchschnitten. Auf der westlich gelegenen Seite des *gullies* finden sich weite, mit HGD bestandene Bereiche, die nur an wenigen Stellen von der Klasse ZS20 unterbrochen werden. Verschiedene inaktive Seitenarme des *gullies* greifen in diese Flächen hinein. Der südliche Bereich wird weiterhin von einem etwa ost-west-verlaufenden unbefestigten Weg durchzogen, der nach Osten hin ansteigt.

5.1.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Auch bei der Betrachtung der aktuellen Geomorphodynamik und der Oberflächenformen wird der Gegensatz zwischen nördlichem und südlichem Teil deutlich. Der nördliche Teil ist primär an den Oberhängen von flächenhaftem Abtrag geprägt und an den Hängen herrscht Rillenspülung vor, so dass am Ausgang kleiner Seitentälchen die Hangschuttbereiche tief zerschnitten sind und der Anschluss an die Tiefenlinie möglich ist. Sämtliche der zahlreichen Seitentälchen konvergieren in der Haupttiefenlinie, die weit im Norden beginnt. Kurz vor der Grenze zum südlichen Teil läuft diese Linie jedoch, noch bevor die letzten Seitentälchen zur Tiefenlinie hinzutreten, aus. Die im starken Gegensatz zur Umgebung sehr geringe Neigung des terrassierten Keils fördert hier Sedimentation und ein Auslaufen von Tiefenlinien. Besonders süd- bis westexponierten Hänge zeigen eine dichte Scharung von Tiefenlinien und aktueller Geomorphodynamik. An diesen Hängen treten deutlich die flach lagernden Gipsbänke zu Tage. Im Gegensatz dazu zeigen die Hangschuttbereiche und nördlich exponierte Hänge eine geringere geomorphodynamische Aktivität.

Ein größerer Bereich flächenhaften Abtrags südlich des *gullies*, weitverbreitete Trittsuren von Vieh sowie ein ausgedehnter Akkumulationsbereich nördlich und nordöstlich des *headcuts* sind, abgesehen vom *gully* selbst, wesentliche geomorphodynamische Elemente im südlichen Teil des EZGes von MDH. Weiterhin zeugt die Terrassierung im *headcut*-Bereich und im Verlauf des *gullies* von der ehemaligen Nutzung dieser Flächen im Trockenfeldbau. Nördlich des unbefestigten Weges verläuft etwa parallel zu diesem ein Motorradtrail. Im flachen Bereich nördlich des *headcuts* ist ein alter Fahrweg gelegen, der aktuell als Abkürzung für diesen Motorradtrail bzw. des unbefestigten Weges genutzt wird und nördlich am *headcut* vorbeiführt.

5.1.3 Substrate

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen zeigen insgesamt einen hohen Sandanteil in den meisten Proben. Bis auf die am Mittelhang eines mit ZS20 bestandenen Hanges sind alle Proben sandig bis stark sandig. Den höchsten Gehalt an organischem Kohlenstoff hat die Probe auf einer alten Brache, die inzwischen mit HGO bestanden ist. Der C_{org} -Gehalt der Zwergstrauchflächen

verhält sich, wenn auch auf niedrigem Niveau, positiv zum steigenden Bedeckungsgrad der Flächen. Die IRFC-Werte zeigen für die Zwergstrauchklassen eine mittlere Neigung zur Krustenbildung, während sie auf den Horstgrasflächen sehr gering ist. Den höchsten Gehalt an organischem Kohlenstoff haben die Proben der ZS80 und HGO (s. Tab. 5.2).

Tab. 5.2: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für María de Huerva inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC)

Probe	Landbedeckungs- klasse	Geländeposition	pH	C _{org} [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Boden- art	IRFC
249	ZS20	Mittelhang	7,4	0,60	30,13	39,53	30,34	Lt2	1,47
250	ZS50	Mittelhang	7,5	0,81	67,86	22,25	9,88	Sl3	1,26
251	ZS80	Mittelhang	7,45	0,88	57,84	33,96	8,20	Sl3	1,82
252	HGO	anthropogene Terrasse	7,3	0,90	89,64	3,24	7,12	St2	0,19
253	HGD	Hangschutt	7,5	0,67	90,28	1,30	8,42	St2	0,02
255	AB	geneigte Fläche	7,4	0,45	73,80	15,23	10,97	Sl3	1,15

5.1.4 Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort María de Huerva

Am *gully* MDH können ein nördlicher und ein südlicher Teil unterschieden werden. Dieser Umstand ist vorwiegend auf den geologischen Untergrund zurückzuführen, der im nördlichen Teil durch die steilen Hänge eine ackerbauliche Nutzung unterbunden hat. Die Exposition bedingt verschiedene Bedeckungsgrade der zwergstrauchdominierten Vegetation, was die geomorphodynamische Aktivität beeinflusst. Die Geomorphodynamik beschränkt sich deshalb im Wesentlichen auf die Klasse ZS20. Diese Flächen sind jedoch aufgrund dichter Horstgrasvegetation in weiten Teilen von der Tiefenlinie abgeschnitten. Der südliche Teil, der sich im Übergangsbereich von den miozänen Gipsablagerungen in die holozäne Talfüllung, in die sich der *gully* eingeschnitten hat, befindet, ist durch ehemalige Landnutzung stark verändert. Hier wirkt sich v. a. die geringe Hangneigung und die anthropogene Veränderung der Landschaft (Terrassierung, Wegebau/Planierung) auf die aktuelle Geomorphodynamik aus, so dass auf der Klasse AD hier vorwiegend flächenhafter Abtrag und auf dem Weg Rillenspülung herrscht.

Der hohe Sandgehalt der Substrate senkt die Erosionsanfälligkeit. Die Neigung der Substrate von der anthropogenen Terrasse (Klasse HGO) und dem Hangschuttbereich (Klasse HGD) zur Krustenbildung ist aufgrund der mittel bis hohen Werte für organischen Kohlenstoff, sowie dem höchsten Sandgehalt der Proben vor Ort sehr gering, was Infiltration von Niederschlagswasser auf diesen Klassen begünstigt. Die hohen Werte für organischen Kohlenstoff sind bei der dichten Horstgrasvegetation vor allem auf den hohen Bedeckungsgrad zurückzuführen, der Erosion

verhindert und durch abgestorbenes Pflanzenmaterial dem mit Flechten bedeckten Boden weiter organisches Material zuführt. Im Bereich der offenen Horstgräser zeigt sich hohe biologische Aktivität durch eine große Anzahl von Wurmlosgängen an der Oberfläche sowie die Ausbildung eines krautigen Unterwuchses wodurch, die Infiltrationseigenschaften verbessert werden und die Rauigkeit erhöht wird.



Abb. 5.5: Ausschnitt aus der geomorphodynamischen Karte des Einzugsgebietes am *gully* María de Huerva (Legende s. Anhang 2, Karte 1).

Aufgrund der Kartierungen kann festgehalten werden, dass nur ein kleiner Teil des EZGes direkt Abfluss zum *headcut* liefert. Die geringe Hangneigung nördlich des Weges führt zu einem Auslaufen der Tiefenlinien in diesem Bereich, so dass diese nicht mehr bis über den Weg weiterverfolgt werden können (s. Abb. 5.5).

Besonders auf der Landbedeckungsklasse ZS20 ist eine deutlich erhöhte Geomorphodynamik zu erkennen. Viele der Rillen laufen jedoch auf dem unterhalb des Zwergstrauchhangs gelegenen Hangschuttbereich aus, wo die Vegetation (Klasse HGD) aufgrund ihrer Eigenschaften (s.o.) einen Weitertransport von Oberflächenabfluss größtenteils verhindert. Muldenförmige Tiefenlinien und Rillenspülung durchbrechen diese „Barriere“ jedoch an einigen Stellen und erzeugen so eine Verbindung zu dem unbefestigten Weg. Sie verknüpfen somit den nördlichen und südlichen Teil des EZGes miteinander. Der unbefestigte Weg wird unregelmäßig durch Planieren erneuert. Am südlichen Rand des Weges entstand dadurch ein kleiner Wall, der einen direkten Durchtransport von Oberflächenabfluss auf die daruntergelegene Terrasse unterbindet

und das Wasser stattdessen über eine Rille dem *headcut*-Bereich zuführt (s. Foto. 5.2). Durch die zuvor beschriebene Flachheit des Geländes kommt es noch vor Erreichen des *headcuts* zur Sedimentation des Materials (s. Foto. 5.3). Verstärkte Sedimentation in diesem Bereich konnte auch MARZOLFF (1999: S. 144ff.) bei der Betrachtung des Prozessgeschehens im weiteren Umfeld des *headcuts* feststellen. Somit erreicht nur wenig Oberflächenabfluss den *headcut*. Die geringe Neigung sorgt für geringere Fließgeschwindigkeiten und damit auch geringere Erosionskraft am *headcut*.



Foto 5.2: Rillenspülung (schwarze Pfeile) auf dem unbefestigten Weg nordöstlich des *headcuts*. Am rechten Bildrand der aufgeschüttete Wall (roter Pfeil).



Foto 5.3: Sedimentation von erodiertem Bodenmaterial mit Fließspuren nordöstlich des *headcuts*.

Die geringe *headcut*-Entwicklung während des Monitoring-Zeitraumes (1995-2006) ist v. a. durch die oben genannten Verhältnisse im EZG bedingt, wodurch wenig Oberflächenabfluss den *headcut* erreicht. MARZOLFF & RIES (2003: S. 325f.) konnten in ihrer Untersuchung einen wesentlichen Beitrag linearer Erosionsprozesse an der *headcut*-Entwicklung ausschließen. Auch flächenhafte Spülprozesse spielen eher an den Terrassenkanten eine Rolle als für die *headcut*-Entwicklung selbst. Wesentlicher *headcut*-erweiternder Prozess sind gravitative Massenbewegungen: Eine hohe Bodenfeuchte, begünstigt durch die guten Infiltrationseigenschaften im Umfeld fördert hier gravitative Prozesse wie das Ausbilden von Rissen an der *gully*-Wand, die durch starke Austrocknung im Sommer, Frostdynamik oder Entlastung entstehen und den *gully* sukzessive erweitern (MARZOLFF & RIES 2003: S. 325).

Kasten 5.1: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort María de Huerva.

- Hauptsächlich die südlich exponierten, geringbedeckten Hänge im EZG (ZS20) zeigen eine deutlich höhere aktuelle Geomorphodynamik und vermehrt lineare Oberflächenformen als in andere Richtungen exponierte, mit dichter Vegetation bestandene Hänge.
- Die Klasse HGD auf Hangfußbereichen unterbindet größtenteils einen Durchtransport von Oberflächenabfluss in tiefergelegene Bereiche und wirkt generell als „Barriere“ für oberflächlich abfließendes Wasser.
- Schwerpunktmäßig im südlichen Teilbereich beeinflussen anthropogene Veränderungen am Relief (Terrassierung/Wegebau) die aktuelle Geomorphodynamik und begünstigen einerseits den Transport von Niederschlagswasser (unbefestigte Straße), erschweren aber andererseits den Weitertransport zum *headcut* (anthropogene Terrassierung in der Klasse HGO).
- Für die *headcut*-Entwicklung sind keine linearen oder flächenhaften Prozesse wirksam. MARZOLFF (1999) und MARZOLFF & RIES (2003) kommen bei ihren Untersuchungen in größerem Maßstab zum gleichen Ergebnis. Danach sind v. a. geringintensive gravitative Massenbewegungen, die verschiedene Ursachen haben können, für die fortschreitende *gully*-Entwicklung verantwortlich.
- Der hohe Sandgehalt der Proben deckt sich nicht mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen (z. B. SAUER 2002; SEEGER & FREVEL 1999), die am Standort María de Huerva hohe Schluffgehalte ergaben. Grund sind möglicherweise die Eigenschaften des Gipses, der einen höheren Sandgehalt vortäuschen kann sowie die Tatsache dass in den Untersuchungen vorrangig das *headcut*-Umfeld und die Brachfläche betrachtet worden ist.

5.2 Barranco Rojo

Der *gully* BR (s. Foto 5.4) hat mit 13,7 ha das drittgrößte EZG der untersuchten *gullies*. Das EZG ist langgestreckt, südost-nordwest-orientiert und von der Klasse AT geprägt (s. Abb. 5.7), die 1/3 des EZGes einnimmt. Zweithäufigste Klasse sind die ZS50 (s. Abb. 5.8). Auch dieses EZG wird wegen der Größe, der großen Längserstreckung und des unterschiedlichen Erscheinungsbildes in zwei Teile, einen oberen und einen unteren Teil gegliedert (s. Abb. 5.6).

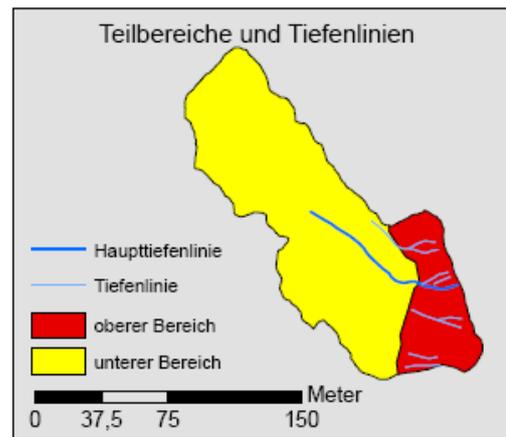


Abb. 5.6: Teilbereiche des Einzugsgebietes von Barranco Rojo.



Foto 5.4: Luftbild des Barranco Rojo (MoGul-Luftbild).

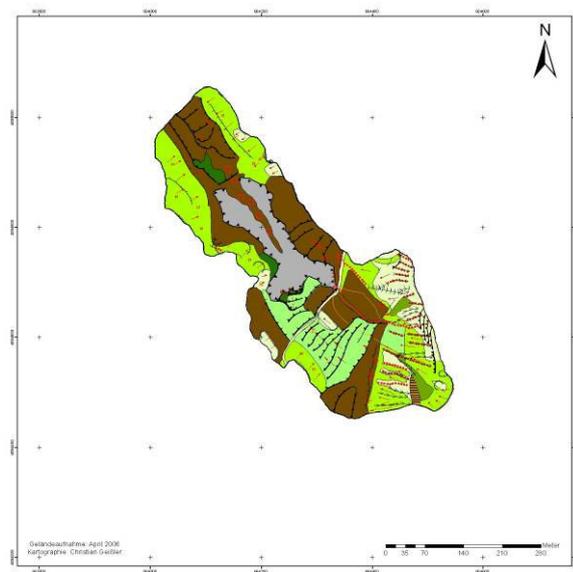


Abb. 5.7: Karte des Einzugsgebietes von Barranco Rojo (Größere Darstellung mit Legende in Anhang 2, Karte 2).

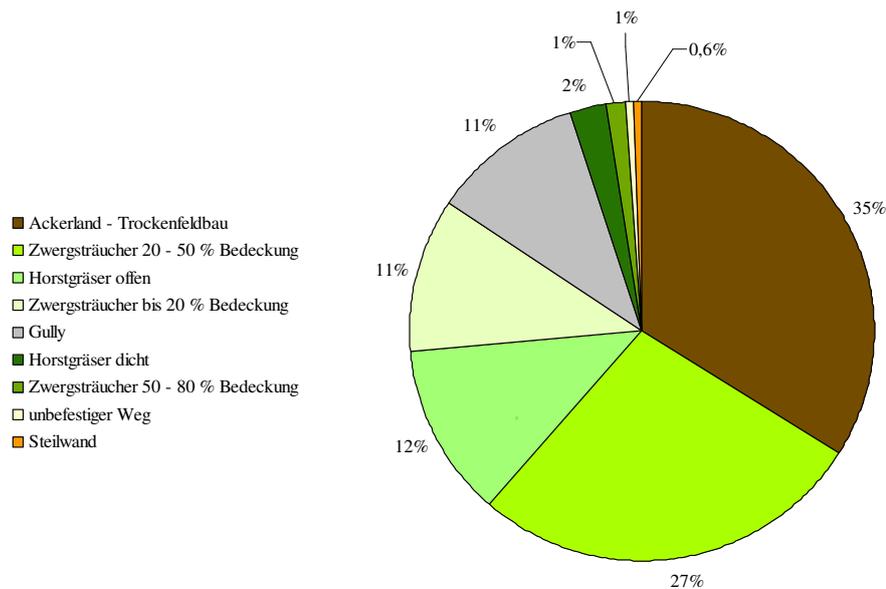


Abb. 5.8: Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Barranco Rojo.

5.2.1 Landbedeckung

Im oberen Teil des EZGes dominieren die Klassen ZS20 und ZS50 die Flächen. Dieser Teil des EZGes ist west- bis südwestexponiert und hat eine große Hangneigung. Die Signatur „Steilwand“ deutet das Ausbeiben der flachlagernden miozänen Gips- und Kalkserien (s. Kap. 3.1.2) an, wodurch es an dieser Stelle zu einem Überhang kommt. Die geringste Bedeckung erreicht der südwest-exponierte Hang der sich an der nördlichen EZGs-Grenze befindet (s. Foto 3.2, 3.3).

Im unteren Teil des EZGes ist die aktuelle landwirtschaftliche Nutzung prägend (Klasse AT). Die landwirtschaftlich genutzten Flächen befinden sich v. a. im Auslaufbereich des *gullies* sowie in dessen direkter Umgebung. Unterbrochen werden sie in steileren Bereichen durch die Klassen ZS50 sowie HGO südlich des *headcuts*, wobei es sich um verlassene Ackerterrassen handelt auf denen sich durch Sukzession inzwischen das Horstgras *Lygeum spartum* oder Brachezeiger wie *Artemisia herba-alba* (SCHÜTT 2001: S. 33) angesiedelt haben.

5.2.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Im oberen Teil des EZGes zeigen Tiefenlinien in dichter Schärung die Abflusswege für Niederschlagswasser. Rillenspülung wurde im gesamten oberen Teil kartiert, flächenhafter Abtrag tritt dahinter zurück und findet in den Zwischenrillenbereichen sowie oberhalb der Steilwand statt. Der größte Teil der kartierten Rillenspülung und Tiefenlinien läuft im Übergang

zum unteren, überwiegend terrassierten Teil aus und es kommt zu Sedimentation von erodiertem Material.

Prägnante Landschaftselemente im unteren Teil sind die Terrassenkanten und der *gully* selbst, der hier den größten Höhenunterschied verursacht und durch den hydrologischen Gradienten die Prozesse in seiner näheren Umgebung beschleunigt. Die landwirtschaftlich genutzten Bereiche wurden terrassiert, wodurch das Relief nachhaltig verändert wurde. Die nicht terrassierten Flächen liegen vorwiegend im Bereich tertiärer Ablagerungen. Hier wurde flächenhafter Abtrag und Viehtritt kartiert. Aufgrund der anthropogenen Bearbeitung vieler Flächen zeigen, ähnlich wie bei SA1 (s. Kap. 5.8) oder SA4 (s. Kap. 5.10), besonders die Terrassenkanten aktuelle Geomorphodynamik. Rillenspülung und *piping* sind hier an den Terrassenkanten aktiv (s. Foto 5.5). Südlich des *headcut* sind neben den Terrassenkanten auch die Terrassenflächen von *piping* betroffen (s. Foto 5.6), was sich in eingebrochenen *piping*-Röhren sowie Ablagerungen an Röhrenausgängen unterhalb der Terrassenkanten ausdrückt.



Foto 5.5: *Piping*-Prozesse an Terrassenkanten (schwarze Pfeile) und am *headcut* (roter Pfeil) des Barranco Rojo (Pfeile) (MoGul-Luftbild).



Foto 5.6: Eingebrochene *piping*-Röhre auf einer Terrasse südlich des *headcuts*.

5.2.3 Substrate

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen im EZG von BR zeigen einen Schwerpunkt bei der Sand- und Schlufffraktion. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff ist mit dem am Standort MDH vergleichbar: Auch hier steigen die Werte mit steigender Vegetationsbedeckung bei den Zwergstrauchklassen an. Mit dem Bedeckungsgrad steigt auch die Verschlammungsneigung der Oberböden (s. Tab. 5.3). Die allgemein höheren Werte zur Verschlammungsneigung und Krustenbildung gegenüber dem nahen Standort MDH sind hier hauptsächlich auf die niedrigeren Sand- und höheren Schluffgehalte zurückzuführen, was bei den unterschiedlichen Bedeckungsgraden der Zwergsträucher besonders auffällt. Der Anstieg des IRFC-Wertes mit steigendem Bedeckungsgrad ist höchstwahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass zur Verkrustung neigendes Substrat hier bereits erodiert wurde. Weiterhin ist, wie bei MDH, der Wert für organischen Kohlenstoff auf der inzwischen mit Horstgräsern bestandenen alten Brache (Klasse HGO) und der Klasse ZS80 am höchsten, was sich mit Beobachtungen erhöhter biologischer Aktivität im Gelände (Wurmlosung an der Bodenoberfläche) auf diesen Landbedeckungsklassen deckt.

Tab. 5.3: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für den Standort Barranco Rojo inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC).

Probe	Landbedeckungsklasse	Gelände-position	pH	C _{org} [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Boden-art	IRFC
053	ZS20	Mittelhang	7,8	0,32	73,77	12,93	13,30	Sl4	0,62
054	ZS50	Mittelhang	7,9	0,39	60,79	25,17	14,04	Sl4	1,47
055	ZS80	Mittelhang	7,7	0,54	34,75	50,04	15,21	Uls	2,01
056	HGO	anthropogene Terrasse	7,5	0,64	49,18	41,71	9,11	Slu	2,89
057	AT	anthropogene Terrasse	7,7	0,44	48,24	41,94	9,81	Slu	2,51
058	AT	anthropogene Terrasse	7,8	0,50	29,28	41,29	29,43	Lt2	1,44

5.2.4 Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Barranco Rojo

Am BR wird der Einfluss der anthropogenen Nutzung auf die Oberflächenprozesse besonders durch den Gegensatz von oberem und unterem EZG deutlich. Die Hänge im oberen EZG sind nur unzureichend mit Vegetation bedeckt, so dass es zu starken linearen Abtragungsprozessen kommt, die jedoch durch die Terrassierung im Übergang zum unteren Teil begrenzt werden. Im unteren Teil beeinflusst somit v. a. die Terrassierung die aktuelle Geomorphodynamik. Ähnlich wie beim stark anthropogen veränderten EZG von SA1 (s. Kap. 5.8) zeigen die Terrassenkanten

hohe geomorphodynamische Aktivität, wohingegen auf den genutzten Terrassenflächen keine Prozesse kartiert wurden. Auch viele kleinere *headcuts*, die der *gully* auf seinem Weg seitlich in Richtung der genutzten Flächen ausgebildet hat, bestätigen die hohe Aktivität auf Ackerflächen (s. Foto 5.5). Der *gully* selbst entwickelt sich am *headcut* durch die Erweiterung und das Zusammenwachsen von *piping*-Löchern (s. Kap. 3.1.2, 2.5.2). Auf den aufgelassenen Terrassen südlich des *headcuts* (Klasse HGO) finden ebenfalls *piping*-Prozesse statt. Auf dieser Fläche sind bereits bis zu 50 cm tiefe, eingebrochene Röhren entstanden, die durch Vegetation und verstärktes Material teilweise verdeckt und über mehrere Terrassen verfolgt werden können. Die an den Terrassenkanten kartierten Rillen sind auch meist auf eingestürzte *piping*-Röhren zurückzuführen. BARRÓN et al. (1994: S. 265) bringen die erhöhte geomorphodynamische Aktivität in Form von *piping* im unteren Huervatal in Verbindung mit Landnutzungsänderungen im Zuge des EU-Beitritts Spaniens, wodurch große Flächen in den letzten 20 Jahren zu subventionierten Brachen wurden (s. Kap. 3.1). Da aufgelassene Flächen nicht mehr wie üblich gepflegt werden, bilden sich in dem anfälligen Substrat verstärkt *piping*-Röhren.

Ähnlich wie im EZG des Gullies MDH führt auch hier nur ein vergleichsweise kleiner Teil des EZGes dem *headcut* Oberflächenabfluss zu. Generell laufen die dicht gescharten Tiefenlinien und Prozessspuren im Übergang von oberem zu unterem Teil des EZGes aus. Anders im EZG des *headcuts*, das nur etwa 10% des Gesamt-EZGes ausmacht (s. Anhang 2, Karte 2). Hier konnte Rillenspülung kartiert werden, die im oberen Teil des EZGes ansetzt und entlang von Feldgrenzen bis zum *headcut* weiterverfolgt werden kann. Zusätzlich dazu erreicht Oberflächenabfluss und Sediment vom westlich des *headcuts* gelegenen Acker den *headcut* (s. Anhang 2, Karte 2). Bei der Kartierung konnten die Prozesse und Prozessspuren auf diesem Feld aber nicht beobachtet werden. Jedoch wurden nach einem Niederschlagsereignis wenige Monate nach der Kartierung deutliche Materialverlagerungen auf dieser Fläche in enger räumlicher Nähe zum *headcut* beobachtet (s. Foto 5.7). Ein Beregnungsversuch auf dieser Fläche von WISTDORF (2007), erbrachte extrem hohe Werte für Oberflächenabfluss und Sedimentaustrag.



Foto 5.7: Starke Sedimentation im *headcut*-nahen, unteren Teil einer Ackerfläche nach einem Niederschlagsereignis bei einer Geländebegehung im Herbst 2006.

Kasten 5.2: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Barranco Rojo.

- Für die höhere geomorphodynamische Aktivität im oberen EZG sind vorrangig die große Hangneigung und die geringe Bedeckung mit Zwergsträuchern verantwortlich.
- Die Terrassierung der Trockenfeldbauflächen unterhalb der mit Zwergsträuchern bewachsenen Hänge des oberen EZGes bedingt ein Auslaufen der Tiefenlinien und Sedimentation von Material. Diese topographische „Barriere“ wird nur im *headcut*-EZG (s. Anhang 2, Karte 2) durchbrochen, wodurch die *headcut*-Entwicklung begünstigt wird.
- Besonders auf den Flächen der Klasse HGO, die auf älteren Brachflächen kartiert wurden, sind an verschiedenen Stellen *piping*-Löcher zu erkennen. Es ist zu vermuten, dass sich der BR in seinem Initialstadium ebenfalls in mehreren aufgelassenen Terrassen entwickelt hat.
- Insgesamt fördert die enge räumliche Nähe der Klasse AT zum *headcut* bzw. weiten Teilen des *gully*-Randes die Weiterentwicklung des *gullies* durch *piping*-Prozesse und rückschreitende Erosion. Die Bedeutung ist jedoch wegen ihres variablen und sehr geringen Bedeckungsgrades und regelmäßiger Bearbeitung schwer einzuschätzen. Die Ergebnisse eines Beregnungsversuchs auf dieser Fläche und eine Geländebegehung nach einem Niederschlagsereignis zeigen jedoch eine hohe geomorphodynamische Aktivität.

5.3 Gully Freila-A

Das mit 5 ha fünftgrößte EZG dieser Untersuchung ist langgestreckt und nord-süd-orientiert (s. Foto 5.8, Abb. 5.9). Es ist zu mehr als der Hälfte mit der Klasse ZS50 bedeckt (54%). Den zweitgrößten Anteil hat die Klasse SH des benachbarten Steinbruchs (12%). Alle weiteren Klassen haben nur Anteile von 7% oder darunter. Aktuelle landwirtschaftliche Nutzung spielt in diesem EZG keine Rolle (s. Abb. 5.9, 5.10).



Foto 5.8: Luftbild des *gullies* Freila-A (MoGul-Luftbild).

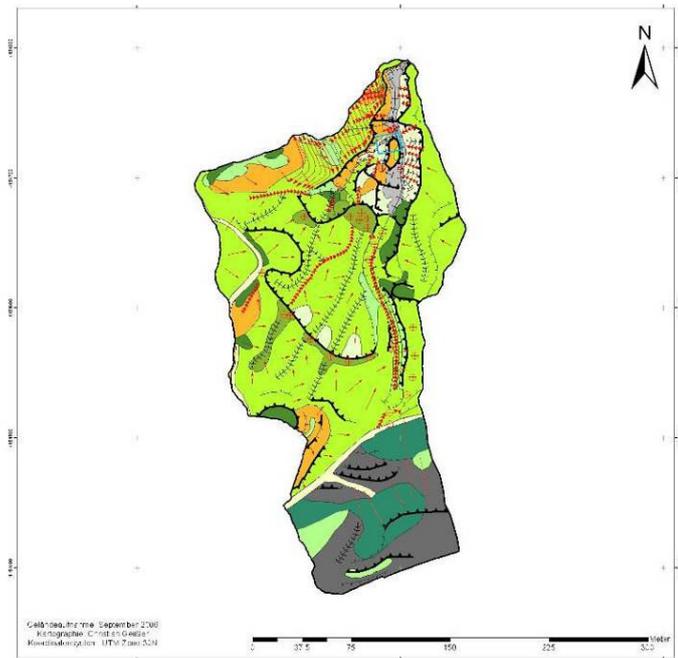


Abb. 5.9: Karte des Einzugsgebietes von Freila-A (Größere Darstellung mit Legende in Anhang 2, Karte 3).

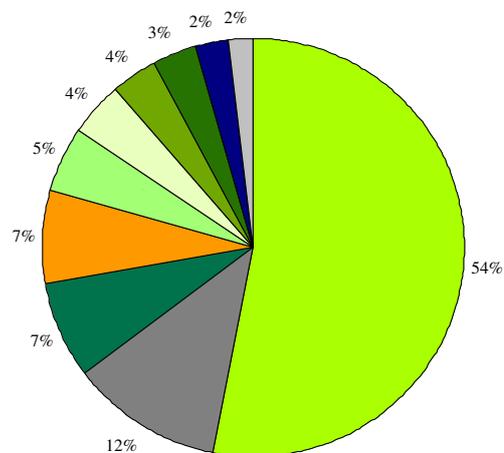
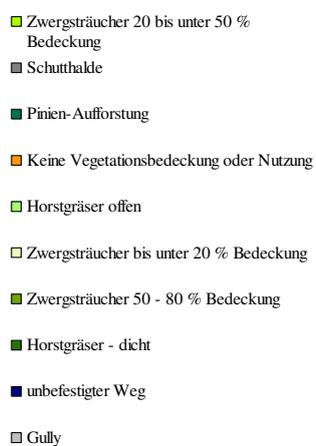


Abb. 5.10 Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Freila-A.

5.3.1 Landbedeckung

Unterhalb des unbefestigten Weges prägt die Klasse ZS50 das EZG und wird nur an einigen Stellen von Klassen höherer Bedeckung (in den Tiefenlinien, vor Terrassenkanten) sowie niedrigerer Bedeckung (an Hangversteilungen, Oberhänge) unterbrochen. In *gully*-Nähe gibt es durch das verschachtelte Relief einen kleinräumigen Wechsel der Bedeckungsarten und Klassen. Besonders die südexponierten Hänge sind vollkommen unbedeckt und meist in enger räumlicher Nähe zu den exponiert stehenden Horstgrasbeständen.

5.3.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Die Karte der aktuellen Geomorphodynamik und Oberflächenformen zeigt eine Asymmetrie des EZGes. Die Haupttiefenlinie verläuft nahe der östlichen Grenze und zeigt durch ihre kastenförmige Ausbildung das Vorhandensein von fluvialer Morphodynamik. Die Flächen westlich davon entwässern in diese Tiefenlinie, dem allgemeinen Gefälle folgend, Richtung Nordosten. Oberhalb der Terrassenkante, die den westlichen Teil des EZGes weiter differenziert, dominiert der flächenhafte Abtrag von Material, der sich in den muldenförmigen Tiefenlinien sammelt. Die Terrassenkante gliedert den Hang, so dass es davor verstärkt zu Sedimentation von Material kommt. Unterhalb der Terrassenkante dominiert weiterhin der flächenhafte Abtrag, jedoch fördert die Nähe zur Haupttiefenlinie den Prozess der Rillenspülung in diesem Bereich. Die kartierte Rillenspülung auf diesem Hang endet aufgrund geringer Neigung in einem Sedimentationsbereich, der durch eine Kante von der Haupttiefenlinie getrennt ist. Der nördliche, in *gully*-Nähe gelegene Teil des EZGes zeigt durch das dichte Auftreten von Oberflächenformen und aktueller Geomorphodynamik eine hohe Abtragsintensität, die durch den starken Höhenunterschied verursacht wird. Im äußersten Norden des EZGes überprägen Rillenspülung und Akkumulation ehemalige Pflugspuren.

5.3.3 Substrate

Bei den Substraten im EZG von FR-A überwiegt in den meisten Proben die Schluffkomponente, so dass die Neigung der Oberböden zu Verschlammung und Krustenbildung hier im Vergleich zu anderen Standorten deutlich höher ist. Besonders hohe Werte erhalten Proben, deren Schluffanteil 60% übersteigt. Das Zurücktreten der Sand- und Tonanteile sowie der generell niedrige Gehalt an organischem Kohlenstoff erhöhen das Risiko zur Ausbildung der oberflächenabflussfördernden Schlämmlagen am Standort (s. Tab. 5.4).

Tab. 5.4: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für den Standort Freila-A inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC).

Probe	Landbedeckungs klasse	Reliefposit ion	pH	C _{org} [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Boden- art	IRFC
173	ZS50	Oberhang	8,3	0,40	7,65	71,96	20,39	Ut4	3,40
174	ZS50	Oberhang	8,1	0,47	18,03	65,31	16,66	Ut3	3,46
175	KVB	Mittelhang	8,1	0,40	44,73	40,37	14,91	Slu	2,36
176	ZS50	Mittelhang	8,0	0,47	35,48	49,65	14,87	Slu	2,96
177	KVB	Unterhang	8,1	0,46	41,59	47,54	10,87	Slu	2,62
178	ZS50	Unterhang	7,9	0,54	37,17	50,23	12,60	Uls	2,86
179	ZS50	Haupttiefen linie	7,9	0,84	21,99	64,72	13,29	Uls	3,61

5.3.4 Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Freila-A

Das EZG von Freila-A zeigt einen Ausschnitt aus einer von ehemaliger, intensiver Nutzung geprägten Landschaft. Viele der kartierten Stufen und Kanten sind ehemalige Feld- und Bearbeitungsgrenzen. Der schlechte Zustand von Böden (Steinanreicherung im Oberboden) und Vegetation (geringe Wuchshöhe) an den Oberhängen und „Rücken“ zwischen muldenförmigen Tiefenlinien zeugt von einer hohen geomorphodynamischen Aktivität sowie einer starken Degradation der Landschaft. Der nord-nordost-exponierte Hang, der einen Großteil des EZGes einnimmt, ist überwiegend durch flächenhaften Abtrag und ihn durchziehende muldenförmige Tiefenlinien charakterisiert.

Der *gully* selbst hat sich in der welligen Landschaft in einer Tiefenlinie zwischen Feld- und Bearbeitungsgrenzen entwickelt und arbeitet sich nun in dieser vorgezeichneten Linie durch rückschreitende Erosion hangaufwärts. Die weitere Tieferlegung des Reliefs im Verlauf des *gullies* fördert durch den hydrologischen Gradienten Prozesse wie *piping* oder Rillenspülung am Rand des *gullies*. Weiterhin wird auch der Druck auf die vom *gully* weiter entfernten Flächen erhöht, da vom *gully* abzweigende Rillen bereits weit in diese hineingreifen (s. Foto 5.11).



Foto 5.9: Standort Freila: Blick in Richtung Nordnordost. Deutlich sichtbar sind stark schwankende Bedeckungsgrade in der welligen Landschaft. In der Bildmitte verläuft eine Rille zur Haupttiefenlinie von Freila-A (roter Pfeil), die etwa vom rechten Bildrand zum Negratín-Stausee (schwarzer Pfeil) verläuft. Der *gully* Freila-B (Kap. 5.4) ist direkt benachbart (blauer Pfeil).

In den muldenförmigen Tiefenlinien ist die Vegetation dagegen dichter (Klasse ZS50 bzw. ZS80) und der Feinmaterialanteil an der Bodenoberfläche höher. Die Form der Tiefenlinie erklärt sich aus starkem Hangabtrag mit hohen Materialzulieferungen, so dass es in der Tiefenlinie nicht mehr ausgeräumt werden kann (LESER et al. 1997: S. 533). Die hier vermehrt auftretenden völlig vegetationslosen Bereiche, wie sie nur in den Untersuchungsstandorten an der Hoya de Baza vorkommen sind aufgrund der lokalen Substrateigenschaften meist stark verkrustet (s. Kap. 5.3.3) und verstärken die Problematik der *gully*-Entwicklung an diesem Standort. ISERLOH (2007: S. 63ff.) konnte für diesen Standort hohe Werte für Oberflächenabfluss und Sedimentaustrag feststellen, was er auf die Schlammkrusten, die Hangneigung und Steine an der Oberfläche zurückführt. Diese Einschätzung und verschiedene Sedimentationsbereiche, die hier kartiert werden konnten, belegen, dass im EZG von FR-A viel Material umgelagert wird wodurch das Einschneiden von kerbförmigen Tiefenlinien und die Ausbildung von Rillenspülung behindert werden kann.

Da sich der Hauptarm im Monitoring-Zeitraum (2002-2006) nur wenig weiterentwickelt hat, wird nun der Seitenarm näher betrachtet, der etwa 70 m *gully*-abwärts aus Südwesten kommend in den Haupt-*gully* mündet und eine höhere Dynamik zeigt (s. Kap. 3.2.1). Im EZG dieses Seitenarmes dominieren die Klasse ZS50 (65% Flächenanteil) und an zweiter Stelle KVB (13%), die besonders an *headcut*-nahen, südexponierten Hängen vorkommt. Der Seiten-*headcut* befindet

sich bereits in einem deutlich stärker reliefierten Teil des EZGs, so dass in diesem Teil-EZG aufgrund der größeren Hangneigung vermehrt Rillenspülung auftritt. Auf den vegetationslosen, stark verschlammten Bereichen gebildeter Oberflächenabfluss kann ohne „Barrieren“, wie sie die dichten Horstgrasflächen am *gully* MDH darstellen (s. Kap 5.1), den *headcut* oder eine auf ihn zulaufende Rille bzw. Tiefenlinie erreichen und so morphologisch wirksam werden. Die kurze Entfernung zwischen den vegetationslosen Bereichen an der nördlichen Grenze des EZGes und einer Rille, die eine Verbindung zu der auf den *gully* zulaufenden, kastenförmigen Tiefenlinie herstellt ist der *gully*-Entwicklung am Seiten-*headcut* ebenso förderlich wie die in diesem Teil des EZGes größere Hangneigung in Verbindung mit Verkrustung der Oberflächen.

Kasten 5.3: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Freila-A.

- Der starke hydrologische Gradient, der durch die tiefe *gully*-Einschneidung verursacht wird, beschleunigt die Prozesse am Gullyrand (Rillenspülung, *piping*).
- Die hohe Neigung des Substrats zur Krustenbildung fördert die Oberflächenabflussbildung v. a. auf gering bis gar nicht bedeckten Flächen (Klassen ZS20, ZS50, KVB, HGO).
- Die räumliche Nähe von gering bis gar nicht bedeckten Bereichen (ZS50; KVB) zum Seitenarm des *gullies* Freila-A fördert dessen Entwicklung.
- Kleinräumige, von der Position im Relief abhängige Wechsel im Bedeckungsgrad der Zwergsträucher in Bereichen flächenhaften Abtrags und verbreitete aktive Sedimentationsbereiche zeugen von hohen Materialverlagerungen, die auch ISERLOH (2007: S. 63ff.) experimentell in größerem Maßstab durch Berechnungssimulationen bestätigen konnte.

5.4 Gully Freila-B

Der *gully* FR-B (s. Foto 5.10) hat mit 1,3 ha das achtgrößte EZG aller *gullies* und bildet mit FR-A (s. Kap. 5.3) den Untersuchungsstandort Freila. Das EZG ist ost-west-orientiert. Ähnlich wie beim benachbarten *gully* FR-A hat hier die Klasse ZS50 den höchsten Anteil am EZG (41%) gefolgt von der geringsten Bedeckungsklasse ZS20 (28%), die hier ebenso wie Klasse KVB (11%) einen deutlich höheren Anteil hat. Somit sind 39% des EZGes nur gering oder gar nicht mit Vegetation bedeckt (s. Abb. 5.11, 5.12).



Foto 5.10: Luftbild des *gullies* Freila-B (Pfeil)
(Mogul-Luftbild).

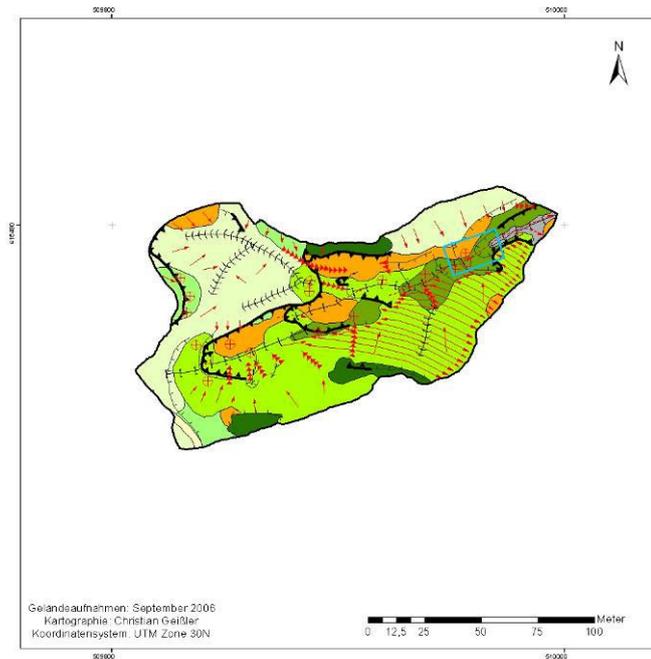


Abb. 5.11: Karte des Einzugsgebietes von Freila-B (Größere Darstellung in Anhang 2, Karte 4).

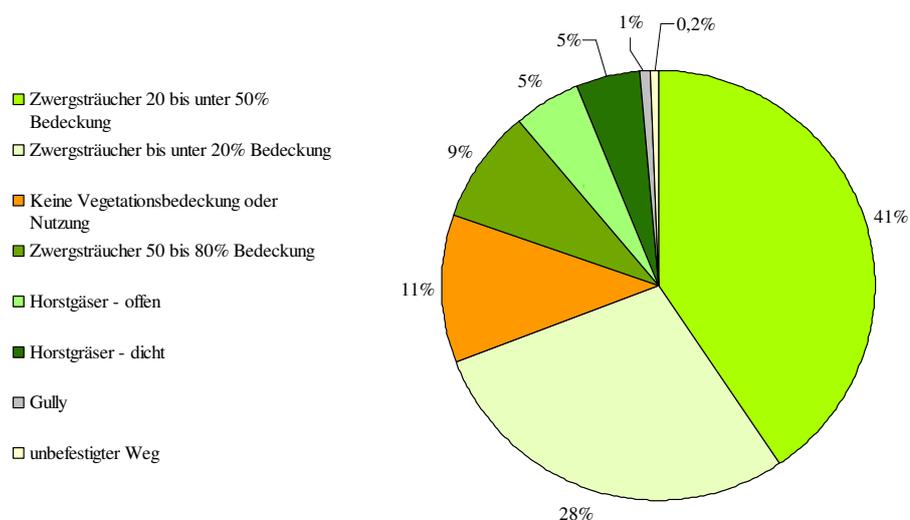


Abb. 5.12: Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Freila-B.

5.4.1 Landbedeckung

Das ost-west-orientierte EZG zeigt hinsichtlich der Landbedeckung Unterschiede zwischen nord- und südexponiertem Teil. Der nordexponierte Hang ist mit Zwergsträuchern in mittlerer Dichte bestanden (Klasse ZS20). Die das EZG mittig durchlaufende Haupttiefenlinie ist teilweise von dichter Zwergstrauchvegetation (ZS80) bestanden, wohingegen am südexponierten Hang sich komplett vegetationsfreie Bereiche (KVB) mit gering mit Zwergsträuchern (ZS20) bestandenen Bereichen abwechseln. Im nordwestlichen Teil ist weiterhin ein größerer Bereich mit Zwergsträuchern der geringsten Bedeckungsklasse bestanden.

5.4.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Am nordexponierten Hang im EZG sind im unteren Bereich Pflugspuren kartiert worden, die quer zum Gefälle verlaufen. Eine muldenförmige Tiefenlinie verläuft rechtwinklig dazu. Die Haupttiefenlinie ist terrassiert, sämtliche der sieben Terrassenkanten sind stark von *piping* betroffen. Auf den Terrassenflächen selbst ist Sedimentation der vorherrschende Prozess. Während es auf den flachen Terrassen also zur Ablagerung von Material kommt, werden diese sukzessive von *piping* und rückschreitender Erosion angegriffen.

An den Hängen im nördlichen Teil des EZGs ist flächenhafter Abtrag vorherrschend, ebenso wie westlich und südlich der obersten Terrassenkante. Die schwach geneigte Fläche nordwestlich der Tiefenlinie ist von flächenhaftem Abtrag und muldenförmigen Tiefenlinien, die in einem Sedimentationsbereich enden, charakterisiert.

5.4.3 Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Freila-B

Das EZG von *gully* FR-B ist von der ehemaligen anthropogenen Nutzung beeinflusst, wobei hauptsächlich die Haupttiefenlinie durch Terrassierung stark verändert wurde. Durch die ost-west-Erstreckung des EZGes zeigt sich der Gegensatz zwischen nördlicher und südlicher Exposition in den Bedeckungsgraden der Vegetation. In der Haupttiefenlinie findet sich ein kleinräumiger Wechsel der Prozesse von *piping*, rückschreitender Erosion und Sedimentation, der die alten Terrassenkanten unter dichter Vegetationsbedeckung fortschreitend zerstört. Auch hier sind ähnlich wie bei FR-A, viele südexponierte Bereiche vorhanden, die völlig vegetationsfrei sind. Auf diesen Flächen kann sich aufgrund der starken Neigung zur Krustenbildung (s. Kap. 5.3.3) einerseits schnell Oberflächenabfluss bilden, andererseits kann aber auch oberhalb dieser Flächen produzierter Oberflächenabfluss zügig weitertransportiert werden.

Durch den Verbau der Tiefenlinie mit Terrassen und die geringe EZGs-Größe ist die Dynamik im EZG von FR-B augenfälliger. Die geringe Ausdehnung des EZGes fördert hier die Prozesse in der Tiefenlinie, da aufgrund der kurzen Entfernung zwischen Hängen und Haupttiefenlinie Niederschlagswasser schneller und ohne „Barrieren“, wie Hangverflachungen oder dichtere Vegetationsbedeckung, diese erreicht und wirksam werden kann.

Der *headcut* des *gullies* FR-B entwickelte sich im Beobachtungszeitraum nur gering die Haupttiefenlinie aufwärts (s. Abb. 3.7) in der verhältnismäßig dichte Vegetation und Terrassenkanten sich kleinräumig verändernde geomorphodynamische Prozesse wie *piping*, Rillenspülung und Sedimentation bedingen. Zwischen 2004 und 2006 konnte sich der *gully* zusätzlich in einem schmalen Saum in nördlicher Richtung entwickeln, wo sich, durch eine Stufe getrennt, vegetationslose und dünn mit Zwergsträuchern bedeckte Bereiche *headcut*-nah befinden, von denen gebildeter Oberflächenabfluss schnell den *headcut* erreichen kann.

Kasten 5.4: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Freila-B.

- Der südexponierte Hang nahe des *headcuts* ist im oberen Teil nur gering bedeckt und unterhalb der Stufe vegetationsfrei, was einerseits die Oberflächenabflussbildung und andererseits den Weitertransport von Oberflächenabfluss zum *headcut* begünstigt.
- Weit verbreitete Sedimentationsbereiche in der Haupttiefenlinie und dort stattfindende *piping*-Prozesse zeugen von einer ähnlich hohen Intensität der Abtragsprozesse wie am direkt benachbarten Standort Freila-A
- Die durch den Expositionsunterschied verursachten unterschiedlichen Bedeckungsgrade haben nach der geomorphodynamischen Kartierung in diesem EZG den allgemeinen Ergebnissen gegenläufige Auswirkungen auf die aktuelle Geomorphodynamik, so dass der nordexponierte Hang im Gegensatz zu den gering bis gar nicht bedeckten Bereichen vermehrt lineare Formen zeigt. Als Grund kommen eine durch die Schlammkrusten verursachte geringere Neigung zur Einschneidung von Rillen bzw. linearen Formen (VALENTIN et al. 2005: S. 139) sowie die geringere Hanglänge am südexponierten Hang in Frage.

5.5 Gully Negratín 1

Der *gully* NE1 (s. Foto 5.11) hat mit 0,45 ha das zweitkleinste EZG in dieser Arbeit. Fast 1/3 des EZGes wird vom *gully* selbst eingenommen (31,7%), der frisch angelegte Acker (Klasse AT) bedeckt die Hälfte des EZGes (s. Abb. 5.13, 5.14).



Foto 5.11: Der *gully* NE1 (Mogul-Luftbild).

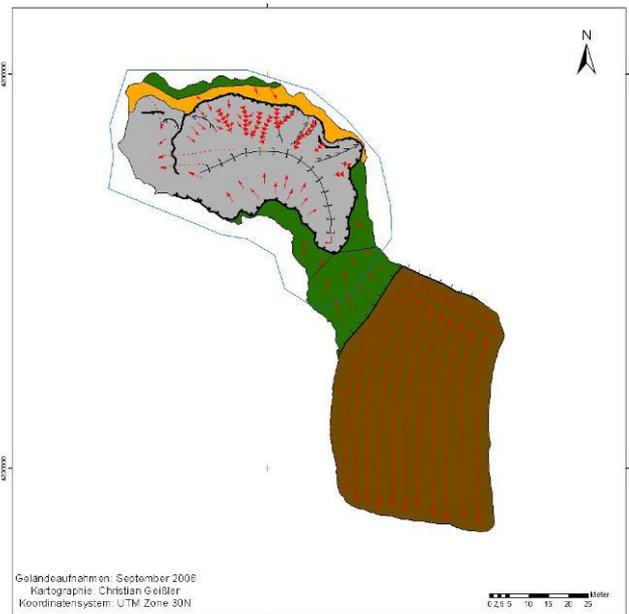


Abb. 5.13: Karte des Einzugsgebietes von Negratín 1 (Größere Darstellung mit Legende in Anhang 2, Karte 5).

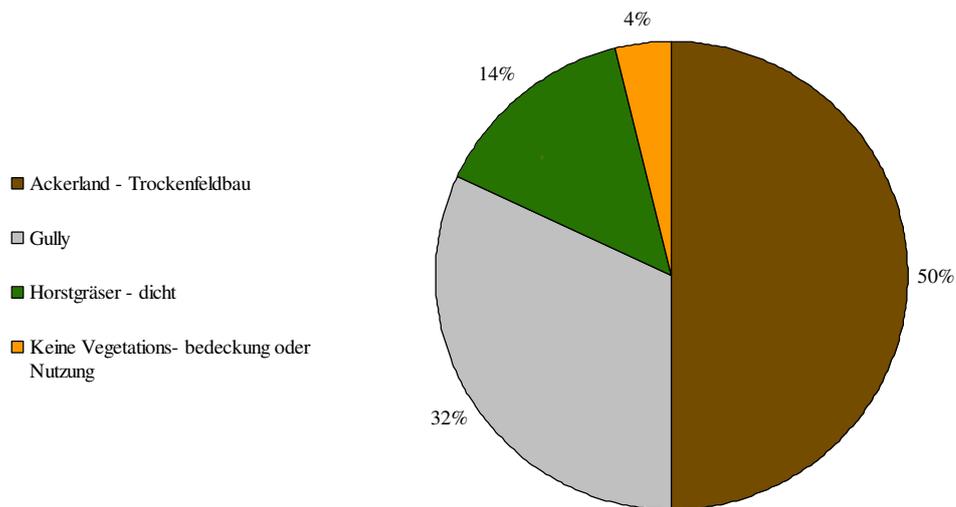


Abb. 5.14 Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Negratín 1.

5.5.1 Landbedeckung

Der *gully* NE1 zieht sich von Westen in das EZG hinein und hat sich an seinem nördlichen und südlichen Rand bereits die Grenze des EZGes erreicht. V. a. im südlichen Bereich bildet der *gully* bereits die EZG-Grenze. Größere Flächen sind nur noch südwestlich des *headcuts* erhalten, der sich z. Zt. in eine dicht mit Horstgräsern bestandene Fläche einschneidet. Die freien Bereiche zwischen den Horsten sind vor allem mit Steinen und Pflanzenresten bedeckt (s. Foto 5.12). Zum *gully*-Rand hin steht die Vegetation zunehmend auf Erdsockeln und die Steinbedeckung nimmt ab. Südöstlich der Horstgrasfläche liegt ein frisch angelegter und gepflügter Acker, auf dem sich in den Furchen Schlämmkrusten ausgebildet haben.



Foto 5.12: Geschlossene Steinbedeckung auf der Fläche Horstgräser – dicht etwa 5 m vom *gully* entfernt.

5.5.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Aufgrund des ausgesprochen flachen Reliefs beschränkt sich die aktuelle Geomorphodynamik auf flächenhaften Abtrag in einem Saum am nördlichen *gully*-Rand sowie südöstlich des *headcuts*. Das EZG von NE1 ist das einzige, in dem (außerhalb des *gullies*) keine Rillenspülung festgestellt werden konnte. Der gepflügte Bereich, der sich weiter südöstlich des *headcuts* befindet, zeigt außer der beschriebenen Verschlammung einzelner Bereiche keine weiteren Merkmale aktueller Geomorphodynamik und ist zudem durch eine kleine Stufe am Nord- und Nordwestende begrenzt. Die Pflugrichtung entspricht der allgemeinen Gefällrichtung der Umgebung.

Der deutliche Höhenunterschied, den die *gully*-Einschneidung verursacht hat bedingt die starken Abtragungsvorgänge, die im *gully*-Inneren stattfinden. Am südlich exponierten *gully*-Hang haben sich mehrere Rillen eingeschnitten, die den *gully* erweitern. Am gegenüberliegenden, nordexponierten Hang ist flächenhafter Abtrag vorherrschend. Die Tiefenlinie des *gullies* ist kastenförmig entwickelt und endet an einem Wall, der den Ausgang verschließt. Durch *piping*-Prozesse kann Niederschlagswasser aber dennoch den *gully*-Ausgang erreichen. Der *headcut*, der sich z. Zt. in die hier stark kiesige S₂-Fläche (DÍAZ-HERNÁNDEZ & JULIÁ 2006: S. 469; s. Kap. 3.2) einschneidet, ist stark unterspült, so dass diese Geländestufe instabil ist.

5.5.3 Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Negratín 1

Am *headcut* sorgt die dichte Horstgrasvegetation für eine gewisse Stabilität und verhindert ebenso wie die geringe Hangneigung und die geringe Größe des EZGes eine starke *gully*-Entwicklung. Die Berechnungssimulationen von ISERLOH (2007: S. 55ff.) ergaben für zwei Standorte innerhalb des Horstgrasbestandes sehr unterschiedliche Werte, die primär mit der Nähe zum *headcut* und der unterschiedlichen Steinbedeckung auf dieser Fläche zusammenhängen. Die dicht mit lose aufliegenden Steinen bedeckte Fläche (95%) ist durch ihr verhältnismäßig gutes Infiltrationsverhalten charakterisiert, was auch einen niedrigen *runoff*-Koeffizienten bedingt (ISERLOH 2007: S. 58). ISERLOH (2007: S. 58) führt dies vor allem auf die schützende Wirkung der Steine und die geringe Hangneigung am Standort zurück. Der nahe des *headcut* gelegene Standort der Berechnungssimulation ist stärker geneigt und hat nur eine geringe Steinbedeckung (bis 2%) sowie abgestorbene Horstgrashalme an der Oberfläche. Die Schlämmkruste, die sich hier ausgebildet hat, verschlechtert die Infiltrationseigenschaften erheblich, so dass hier *headcut*-nah ein sehr hoher *runoff*-Koeffizient erreicht wird (ISERLOH 2007: S. 55ff.).

Kasten 5.5: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Negratín 1.

- Obwohl der *gully* an vielen Stellen der EZGs-Grenze schon sehr nahe ist, laufen im *gully*-Innern noch Denudationsprozesse wie Rillenspülung oder flächenhafter Abtrag ab, wodurch die *gully*-Wände zurückverlagert werden. Für Rutschungen ist das wenig kompakte wenig standfeste, stark kiesige Substrat verantwortlich in das sich der *gully* z. Zt. einschneidet.
- Auch hier ist wohl ähnlich wie bei NE3 wegen der geringen EZG-Größe (0,45 ha) und des großen Anteils des *gullies* daran (31,7%) die *gully*-Entwicklung eingeschränkt, so dass im Vergleich zu größeren EZGen sehr viel weniger Oberflächenabfluss gesammelt werden kann, der den *gully* ausräumen könnte.
- Die den *headcut* umgebende HGD-Fläche weist eine hohe Steinbedeckung auf, die die zur Verschlammung neigenden Substrate hier schützt. Am *gully*-Rand sind die Steine weitestgehend durch flächenhafte Abtragung entfernt worden und die Oberfläche ist vorwiegend durch Schlämmkrusten charakterisiert, was erhebliche Unterschiede in der Oberflächenabflussbildung bedingt wie ISERLOH (2007: S. 58) zeigen konnte.

5.6 Gully Negratín 3

Der *gully* NE3 (s. Foto 5.13) hat mit 0,48 ha das neuntgrößte der untersuchten EZGe. Der Anteil des *gullies* am EZG ist mit 10% verhältnismäßig hoch. Die höchsten Flächenanteile erreicht die Klasse ZS20, gefolgt von den Flächen der Klasse PA (s. Abb. 5.16).



Foto 5.13: Der *gully* Negratín 3 (Mogul-Luftbild).

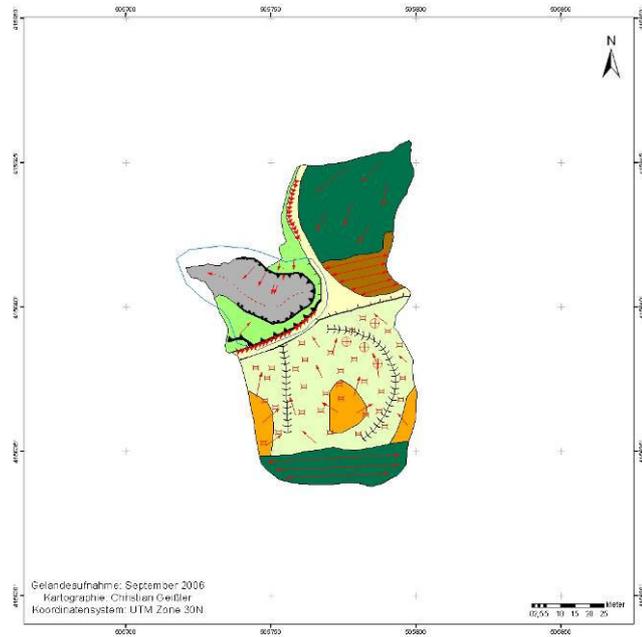


Abb. 5.15: Karte des Einzugsgebietes von Negratín 3 (Größere Darstellung mit Legende in Anhang 2, Karte 6)

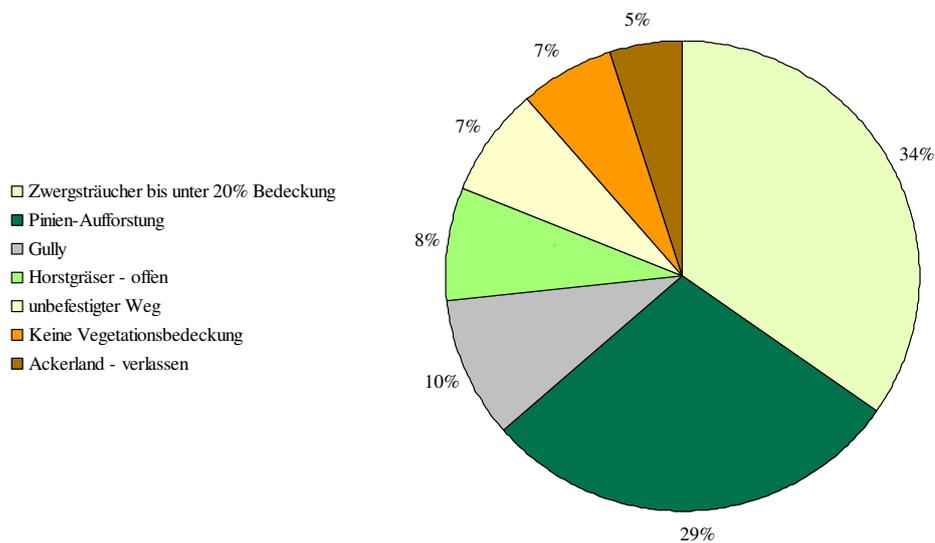


Abb. 5.16: Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Negratín 3.

5.6.1 Landbedeckung

Der *gully* NE3 zieht von Westen her in das EZG hinein, in dessen Zentrum sich eine Weggabelung befindet. Der *gully* läuft auf diese Gabelung zu und ist von der Klasse HGO gesäumt. Nordöstlich des *gullies* auf der anderen Wegseite befindet sich eine Aufforstungsfläche, auf der vor ca. 10-15 Jahren Pinien angepflanzt wurden. Südlich davon schließt eine grob umgebrochene, mit wenigen Zwergsträuchern bestandene Brache an. Der Bereich südlich der Straße ist mit der Klasse ZS20 bestanden. Charakteristisch für diese Landbedeckungskategorie ist hier die stark degradierte Vegetation, die nur Höhen von bis zu 10 cm erreicht. Der Boden ist ebenfalls stark degradiert und weist eine relativ hohe Steinbedeckung auf (s. Foto 5.14). Die freien Flächen, meist unterhalb von Sträuchern, sind vollständig verschlammte. Unterbrochen wird die ansonsten relativ homogene Fläche von völlig vegetationsfreien Arealen. Weiter südlich davon gelegen ist eine weitere Aufforstungsfläche, die sich zum Zeitpunkt der Kartierung in Vorbereitung befand.



Foto 5.14: Verspülte Steine (v. a. Bildmitte) und Vegetation auf kleinen Wuchshügeln sind das Ergebnis starker Abtragungsprozesse.

5.6.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Der *gully* NE3 ist tief eingeschnitten. Im *headcut*-Bereich wurde Unterschneidung der Böschung, im gesamten Verlauf des *gullies* *piping* kartiert. Nordöstlich sowie südlich des *gullies* ist flächenhafter Abtrag dominierend. Auf der südlichen Seite konvergiert im Gegensatz zum nordwestlichen Bereich der Abfluss in flachen, muldenförmigen Tiefenlinien. Besonders der

südliche Teil des EZGes ist zudem stark von Viehtritt gekennzeichnet. Auf den Flächen gebildeter Oberflächenabfluss erreicht über auf dem Weg verlaufende Rillen den *gully*. Östlich des *headcuts*, sowie an der südlichen EZG-Grenze wurden zudem Pflugspuren kartiert.

5.6.3 Substrate

Die Substrate im EZG sind hauptsächlich durch den geringen Tonanteil charakterisiert. Die Schluffkomponente überwiegt gegenüber der Sandfraktion, und so ist die Neigung zur Krustenbildung hier im Vergleich mit anderen Standorten als hoch einzuschätzen (s. Tab. 5.5).

Tab. 5.5: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für den Standort Negratín 3 inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC).

Probe	Landbedeckung	Geländeposition	pH	C _{org} [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart	IRFC
184	PA	Oberhang	7,9	0,71	36,55	48,74	14,71	Slu	2,51
185	AB	schwach geneigte Fläche	8,1	0,30	39,76	47,06	13,18	Slu	3,38
186	HGO	Gullyrand	8,4	0,21	31,42	51,15	17,43	Lu	2,61
187	ZS20	Mittelhang	8,1	0,30	51,28	42,19	6,53	Su4	5,18
188	PA	Mittelhang	7,8	0,80	50,98	35,90	13,12	Sl4	1,87

5.6.4 Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Negratín 3

Durch die geringe Ausdehnung des EZGes sind alle Flächen in direkter Umgebung des *gullies* gelegen. V. a. die ZS20-Fläche erhält, angedeutet durch die muldenförmigen Tiefenlinien, Anschluss an den Weg, auf dem Rillen eine Verbindung zum *headcut* herstellen. Die starken Abtragserscheinungen auf dieser Fläche (s. Foto 5.14) und die sehr hohe Verschlammungsneigung (IRFC-Wert: 5,18; s. Tab 5.5) des oberflächennahen Substrats belegen die Wirksamkeit dieser Fläche für die *gully*-Entwicklung. Auf der am gegenüberliegenden Hang befindlichen Pinien-Aufforstung wurde lediglich flächenhafter Abtrag kartiert, dennoch legen auch hier Spülrillen auf dem Weg eine Verbindung zum *headcut* nahe. Die Rillen enden noch, bevor sie den *headcut* erreichen, so dass der Oberflächenabfluss unkonzentriert dem stärkeren Gefälle folgend über die offen stehenden Horstgräser zum *gully* läuft. Die beiden Proben der Aufforstungsflächen haben die höchsten Gehalte an organischem Kohlenstoff in diesem EZG (s. Tab. 5.5), was wohl den positiven Effekt solcher Maßnahmen auf den Boden ausdrückt.

Prägend für den Standort ist die Steinbedeckung der Böden, insbesondere bei der nördlichen Pinien-Aufforstung und der ZS20-Fläche südlich der Straße, die das, wie an den anderen

Standorten an der Hoya de Baza, stark zu Verschlammung neigende Substrat vor dem Niederschlag schützen. Am *gully*-Rand und auf frisch bearbeiteten Flächen ist ein deutlich geringerer Steinanteil zugunsten von Schlämmkrusten zu beobachten. Die Vegetation im EZG ist durch starke Überweidung, v. a. südlich des unbefestigten Weges stark degradiert und erreicht nur geringe Wuchshöhen. Dass sich die *gully*-Fläche im Monitoring-Zeitraum (2002-2006) nicht weiterentwickelt hat, erklärt sich höchstwahrscheinlich aus dem kleinen EZG, an dem der *gully* mit 10% (s. Abb. 5.16) bereits deutlich mehr Anteil hat als die anderen *gullies* an ihren EZGen.

Kasten 5.6: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Negratín 3.

- Die Flächen im EZG von NE3 zeigen starke Degradationserscheinungen (hohe Steinbedeckung, geringe Wuchshöhe der Vegetation). Eine vor 10-15 Jahren durchgeführte Aufforstung mit Pinien und eine weitere in Vorbereitung befindliche Fläche zeigen, dass dem hier bereits entgegen gearbeitet wird. Die Oberfläche unter der Pinien-Aufforstung weist einen deutlich höheren Gehalt an organischem Kohlenstoff auf und ist weniger stark verkrustet als die fast vegetationslose Zwergstrauchfläche, wodurch die Infiltration von Niederschlagswasser begünstigt wird. CHRINO et al. (2006: S. 28) konnten in Bezug zu Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in einer 30 Jahre alten Pinien-Aufforstung jedoch keinen signifikanten Verbesserungen feststellen.
- Wesentlich für die *gully*-Entwicklung ist die Fläche südlich des *headcuts*, die nur sehr gering mit stark degradierten Zwergsträuchern bestanden ist und extensiv beweidet wird. Auf dieser Fläche verlaufen zwei muldenförmige Tiefenlinien in Richtung des unbefestigten Weges, wo Oberflächenabfluss durch Spülrillen den *headcut* erreichen kann. Die hohe Steinbedeckung dieser Fläche reduziert nach ISERLOH (2007: S. 59) den Oberflächenabfluss nicht wesentlich, was er auf die hohe Hangneigung von 26° zurückführt. Es ist zu vermuten, dass die Schlämmkrusten in Verbindung mit der hohen Steinbedeckung die Einschneidung von Rillen verhindern, was auf dieser Landbedeckungsklasse und bei einer Hangneigung von 26° eigentlich zu erwarten wäre.
- Dass sich der *gully* in seiner Ausdehnung während des Monitoring-Zeitraumes (2002-2006) im Gegensatz zu den meisten anderen *gullies* nicht weiterentwickelt hat, liegt vermutlich an der geringen Größe des EZGes (0,48 ha), von dem der *gully* bereits einen überdurchschnittlich hohen Anteil hat (10%). Die Oberflächenabflussmenge ist daher wohl zu gering, um am *headcut* morphologisch wirksam zu werden.

5.7 Gully Casablanca

Der *gully* CA (s. Foto 5.15) hat mit 1,9 ha das sechstgrößte EZG dieser Untersuchung, welches in einen oberen und einen unteren Teil gegliedert wird (s. Abb. 5.17). Der Anteil des *gullies* an seinem EZG ist mit 1% vergleichsweise gering. Den höchsten Flächenanteil hat die Klasse AV, welche mehr als die Hälfte des EZGes einnimmt. Zusammen mit den Zwergsträuchern bildet sie den unteren Teil des langgestreckten EZGes, der mehr als 3/4 der Gesamtfläche einnimmt (s. Abb. 5.19).

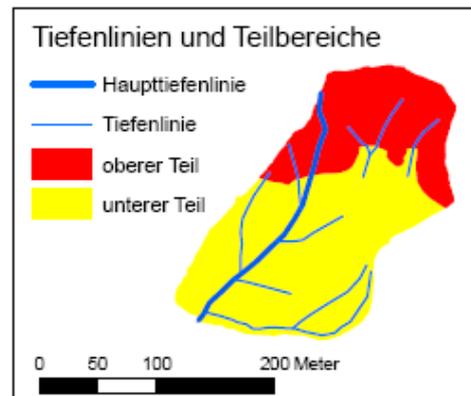


Abb. 5.17: Teilbereiche im Einzugsgebiet von Casablanca



Foto 5.15: Der *gully* Casablanca (MoGul-Luftbild).

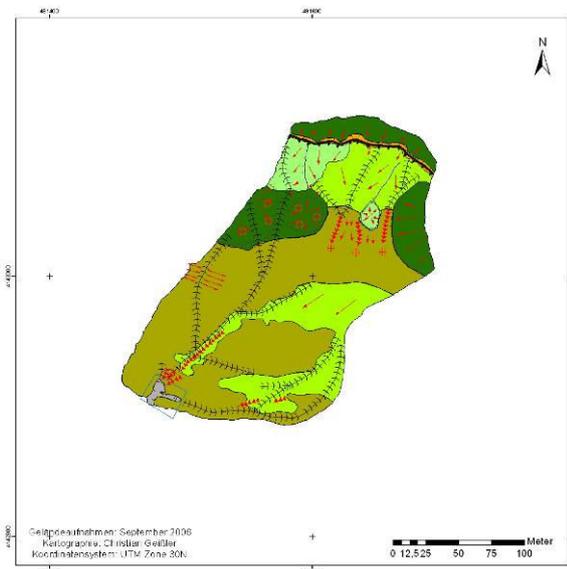


Abb. 5.18: Karte des Einzugsgebietes von Casablanca (Größere Darstellung mit Legende in Anhang 2, Karte 7).

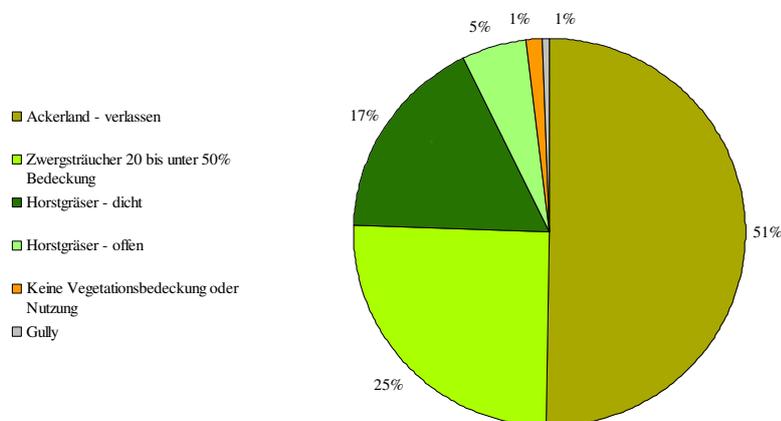


Abb. 5.19: Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Casablanca.

5.7.1 Landbedeckung

Der *gully* CA schneidet sich z. Zt. in eine dicht mit *Vulpia bromoides* (Trespenfederschwingel) bewachsene, ehemalige Ackerfläche (ca.15-20 Jahre alt, Klasse AV) ein, die bodennah sehr hohe Bedeckungsgrade erreicht (s. Foto 5.16). In diese Fläche greift von Osten her eine mit Zwergsträuchern (ZS50, vorwiegend *Rosmarinus officinalis*) bewachsene Fläche hinein. Der obere Teil des EZGes setzt sich aus Horstgrasflächen unterschiedlicher Bedeckung zusammen, die den Hang und dem Hang vorgelagerte Kuppen bewachsen. Der zentral gelegene Hang ist mit der Klasse ZS50 bedeckt, deren Unterwuchs jedoch nahezu komplett aus dem schon genannten Trespenfederschwingel besteht. Weiter nördlich schließt sich bis zur EZGs-Grenze eine weitere, mit HGD bestandene Fläche an.



Foto 5.16: Die dichte, bodennahe Bedeckung mit *Vulpia bromoides* schützt den Boden vor der Wirkung des *splash*-Effektes.

5.7.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Die aktuelle Geomorphodynamik im EZG vom *gully* CA hat ihren Schwerpunkt in den steileren Bereichen im oberen Teil des EZGes. An dessen Nordgrenze ist flächenhafter Abtrag vorherrschend. Dieser flach in südliche Richtung abfallende Bereich wird von einer bis zu 10 m mächtigen Geländestufe begrenzt, die durch einen Ausläufer flach lagernder, kambrischer Glimmerschiefer und Quarzite (IGME 1970; s. Abb. 3.5) gebildet wird. Der südlich anschließende Hang ist durch flächenhaften Abtrag und muldenförmige Tiefenlinien

gekennzeichnet. Im östlichen Teil des EZGes gehen diese muldenförmigen Tiefenlinien in Rillenpflügel über, um wenige Meter später in flacherem Terrain auszulaufen. Im westlichen Bereich setzt sich die Tiefenlinie weiter fort und trennt zwei Kuppen, auf denen das Relief ebenfalls flächenhaft tiefer gelegt wird. Der flachere, südliche Teil des EZGes ist ebenfalls von muldenförmigen Tiefenlinien durchzogen, die allesamt auf den *gully* bzw. den *headcut* zulaufen. Am östlichen Rand markieren quer zum Gefälle verlaufende Pflugspuren einen Aufforstungsbereich, der von einer muldenförmigen Tiefenlinie durchlaufen wird. Am nordwärts orientierten *headcut* konvergieren mehrere Rillen; der ostwärts orientierte *headcut* bildet das Ende einer muldenförmigen Tiefenlinie.

5.7.3 Substrate

Die Substrate im EZG zeigen meist einen vergleichsweise hohen (> 60%) Anteil der Sandfraktion und einen geringen Anteil der Tonfraktion (10% und darunter). Der geringe Tonanteil erhöht, trotz des hohen Sandanteils, die Werte zur Verschlammungsneigung, die hier ähnlich hoch sind wie am Standort FR-A (s. Tab. 5.6; Kap. 5.3).

Tab. 5.6: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für den Standort Casablanca inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC).

Probe	Landbedeckung	Gelände-position	pH	C _{org} [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Boden-art	IRFC
169	ZS50	geneigte Fläche	7,75	0,64	60,45	33,61	5,94	Su3	3,03
170	ZS50	geneigte Fläche	8,0	0,41	61,69	29,91	8,40	Sl3	2,51
171	HGD	Mittelhang	8,1	0,48	62,25	26,43	11,33	Sl3	1,71
172	HGO	Oberhang	8,25	0,44	39,77	49,75	10,47	Slu	3,05

5.7.4 Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Casablanca

Auch am *gully* CA konnte ein oberer und ein unterer Teil unterschieden werden. Während der obere Teil, der mit Zwergsträuchern und Horstgräsern bestanden ist, eine größere Hangneigung und verstärkte geomorphodynamische Aktivität aufweist, ist der untere, flachere Teil im Wesentlichen mit Trespenfederschwingel bestanden, der nur wenige freie Bereiche zeigt und geringere geomorphodynamische Aktivität aufweist. Die auf den *gully* zulaufenden Tiefenlinien haben ihren Ursprung hauptsächlich im oberen Teil des EZGes, im östlichen Teil sind sie erst nach einiger Entfernung zum steileren Teil des EZGes erkennbar. Die Dichte der bodennahen Vegetation und die geringe Hangneigung im unteren Teil des EZGes hemmen die Konzentration von Oberflächenabfluss und dadurch die Rillenbildung. ISERLOH (2007: S. 75ff.) stellte bei

Berechnungsversuchen auf diesen Flächen einen vergleichsweise geringen *runoff*-Koeffizienten und geringe Bodenabträge fest, die er auf günstigere Infiltrationseigenschaften und eine geringere Wirkung des *splash*-Effektes aufgrund des hohen Bedeckungsgrades zurückführt. Die dichte bodennahe Bedeckung mit Trespenfederschwingel schützt hier die stark zu Verschlammung neigenden Oberböden und führt zu einer erhöhten Rauigkeit und Stabilität der Bodenoberfläche. In den steileren, mit Horstgräsern bestandenen Bereichen ist zwar eine größere Hangneigung vorhanden, jedoch senken die stellenweise hohe Steinbedeckung und die starke Verkrustung dieser Oberflächen in Verbindung mit geringer Hanglänge die Neigung zur Rillenausbildung. Dennoch ist davon auszugehen, dass dort mehr und schneller Oberflächenabfluss produziert wird als im unteren, flacheren Teil. Die *headcut*-Entwicklung zeigt im Beobachtungszeitraum keine eindeutige Entwicklungsrichtung des *gullies* (s. Abb. 3.8). Nur an der nördlichen Spitze, die in einen Bereich mit dicht gescharten Rillen übergeht, erweiterte sich der *gully* stärker. Diese Rillen gehen weiter nördlich in muldenförmige Tiefenlinien über, die eine Verbindung zum oberen Teil des EZGes herstellen, wo stärkere geomorphodynamische Aktivität herrscht. Die große Entfernung zu diesem aktiveren, oberen Teil in Verbindung mit dem dichten Trespenfederschwingelbewuchs im unteren, flacheren Teil hemmen den Durchtransport von Oberflächenabfluss, weswegen der noch weiter vom oberen Teil entfernte, ostwärts gerichtete *headcut* eine noch geringere Erweiterung erfahren hat.

Kasten 5.7: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Casablanca.

- Die Eigenschaften der den *gully* umschließenden Fläche (Klasse AV) sind der *gully*-Entwicklung nicht förderlich. Eine sehr dichte, bodennahe Bedeckung mit Trespenfederschwingel hemmt die Wirkung des *splash*-Effektes und verbessert die Infiltrationseigenschaften des ansonsten stark zu Verschlammung neigenden Substrats.
- Muldenförmige Tiefenlinien verbinden den *gully* mit dem oberen Teil des EZGes, in dem stellenweise deutlich geringere Bedeckungsgrade der Vegetation und eine höhere geomorphodynamische Aktivität zu verzeichnen sind, wodurch der *gully* auch aus diesen Bereichen Oberflächenabfluss erhalten kann.
- Die relativ gleichmäßige *gully*-Entwicklung über den gesamten Rand des *gullies* spricht dafür, dass am *gully* CA, trotz der Rillen am *headcut*, weniger linienhafte, sondern eher flächenhafte oder gravitative Erosionsprozesse ähnlich wie am *gully* MDH (s. Kap. 5.1) für die Weiterentwicklung verantwortlich sind.

5.8 Gully Salada 1

Das EZG von SA1 ist mit 24,7 ha das zweitgrößte EZG der vorliegenden Untersuchung. Die westliche Grenze des EZGes wurde im Gelände festgelegt, da festgestellt werden konnte, dass sich im oberen EZG¹ aufgrund der zunehmenden Hangneigung zwar tiefe Rillen eingeschnitten hatten, die jedoch mit Übergang in den genutzten Bereich schnell auslaufen und nicht weiter zu verfolgt werden können. Aufgrund der aktuellen Nutzung ist ein Durchtransport von Oberflächenabfluss vom oberen Teil in den unteren Teil des EZGes² nicht zu vermuten. Die folgenden Beschreibungen und Kartierungen des EZGs von SA1 beziehen sich ausschließlich auf das untere EZG.

Das EZG ist deutlich anthropogen geprägt. Mehr als 4/5 des betrachteten EZGes werden von der Dauerkultur (Mandeln, Oliven) eingenommen. Andere Bedeckungsklassen erreichen nur Werte bis höchstens 5% (s. Abb. 5.20, 5.21).



Foto 5.17: Der headcut des gullies Salada 1 (MoGul-Luftbild).

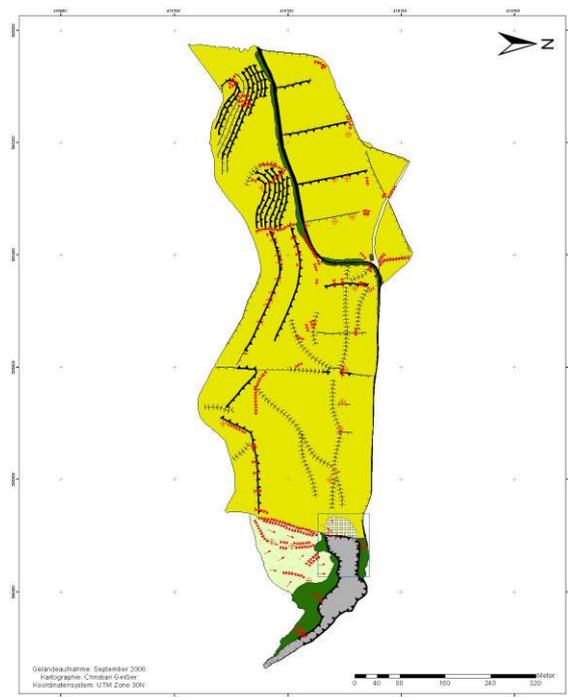


Abb. 5.20: Karte des Einzugsgebietes von Salada 1 (Größere Darstellung mit Legende in Anhang 2, Karte 8).

¹ Mit mehr oder weniger dichtem Matorral bestandener, sehr steiler Teil, der nicht kartiert wurde.

² In landwirtschaftlicher Nutzung befindlicher, flacherer Teil, der in Karte 8, Anhang 2 zu sehen ist.

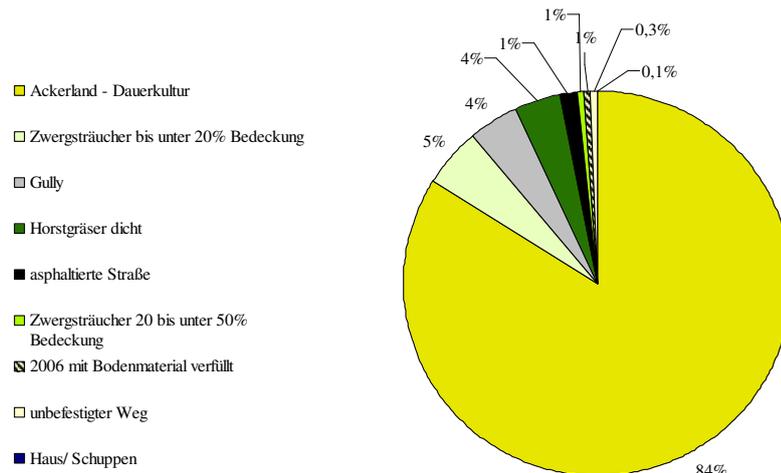


Abb.5.21: Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Salada 1.

5.8.1 Landbedeckung

Die Karte der Landbedeckung zeigt eine deutliche Dominanz anthropogener Nutzung in diesem EZG. Der *gully* läuft von der Rambla Salada im Osten kommend, gesäumt von der Klasse HGD, auf die Dauerkulturfäche zu und hatte sich 2004/2005 bereits bis zu 40 m in den Mandelhain eingeschnitten. Südlich des *gullies* zieht sich eine ZS20-Fläche bis zur EZGs-Grenze. Neben den Zwergsträuchern sind großflächig Schlämmkrusten für diese Fläche charakteristisch. Westlich dieser Fläche und des *gullies* beginnt der Mandelhain, der nur von einer asphaltierten Straße und einem unbefestigten Weg unterbrochen wird. Die asphaltierte Straße wird stellenweise von Horstgrasbewuchs gesäumt. Zwischen 2004 und 2006 wurde der *headcut* des *gullies* mit Bodenmaterial verfüllt, um diese ca. 1400 m² große Fläche wieder zurückzugewinnen (s. Kap. 3.2.4). Der Rand der Verfüllung wurde als Damm planiert. Die Klasse AD, als wesentliche Bedeckungskategorie an diesem Standort, ist an der Bodenoberfläche bis auf wenige Steine völlig unbedeckt und wird regelmäßig bearbeitet, um das Aufkommen von Unterwuchs zu verhindern.

5.8.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Bereiche stärkerer aktueller Geomorphodynamik am *gully* SA1 beschränken sich auf das Gebiet südlich des *gullies*, wo starke Rillenspülung und kleinere Sedimentationsbereiche festgestellt wurden. Da die kartierte Fläche der Klasse AD unmittelbar vor der Aufnahme frisch mit dem Pflug bearbeitet wurde, wurden Spuren aktueller Geomorphodynamik fast vollständig beseitigt. Aktuelle Prozessdynamik konnte daher meist nur an Terrassenkanten beobachtet und kartiert

werden. Mehrere muldenförmige Tiefenlinien laufen auf die ebenfalls muldenförmig ausgebildete Haupttiefenlinie zu. Insbesondere an den Terrassenkanten, die die auf den *gully* zulaufende Haupttiefenlinie queren, konnte Sedimentation von Material und die Zerstörung der Terrassenkanten festgestellt werden (s. Foto 5.18, 5.19). Ansonsten sind hauptsächlich die Terrassenkanten im südlichen, steileren Bereich des EZGes von Rillenspülung, Sackungen (s. Foto 5.20), oder *piping* betroffen. Die weiter westlich gelegenen Terrassenkanten, die durch ihre Scharung eine weitere Versteilung des Reliefs zeigen, sind v. a. von Rillenspülung gekennzeichnet. Diese Rillen ziehen sich teilweise über mehrere Terrassenflächen und -kanten hinweg. Im nordwestlichen Teil des EZGes wurde dagegen selbst an den Terrassenkanten nur wenig Geomorphodynamik festgestellt, was wahrscheinlich auf das sehr flache Relief der Terrassen zurückzuführen ist, die durch anthropogene Bearbeitung teilweise ein dem allgemeinen Gefälle gegenläufiges Gefälle aufweisen. Der zwischen den Monitoring-Zeitpunkten 2004 und 2006 verfüllte Bereich ist stellenweise von tiefen Rissen durchzogen und lässt verstärkte subterrane Prozesse vermuten.



Foto 5.18: Sedimentation vor einer Terrassenkante der Haupttiefenlinie im Einzugsgebiet von Salada 1.



Foto 5.19: Durchbruch an einer Terrassenkante im Einzugsgebiet von Salada 1.

5.8.3 Substrate

Im EZG von SA1 haben alle Proben einen vergleichsweise hohen Tonanteil sowie relativ hohe Gehalte an organischem Kohlenstoff. Der Schwerpunkt der Korngrößenverteilung liegt bei der Schluff- und Tonfraktion, die Sandanteile sind bis auf die Proben der Oberhänge im Vergleich mit den anderen EZGen gering. Die hohen Sandanteile an den Oberhängen gehen im Wesentlichen zu Lasten eines geringeren Schluffanteils. Die Neigung zu Verschlammung und Krustenbildung ist primär wegen des insgesamt hohen Tongehaltes vergleichsweise gering. Den höchsten IRFC-Wert erreicht die Probe aus dem Akkumulationsbereich vor der Terrassenkante (s. Foto 5.18), wofür im Wesentlichen der hohe Schluff- und niedrige Sandgehalt verantwortlich

ist, der hier den verschlammungsmindernden Anteil an organischem Kohlenstoff dominiert. Die IRFC-Werte sind als mittel einzustufen, da der hohe Tongehalt die Neigung zur Krustenbildung verringert (s. Tab. 5.7).

Tab. 5.7 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für den Standort Salada 1 inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC).

Probe	Landbedeckung	Geländedeposition	pH	Corg [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart	IRFC
190	AD	Mittelhang	8,3	0,59	15,30	42,58	42,12	Lt3	0,90
192	AD	Mittelhang	8,1	0,50	10,89	51,05	38,06	Tu3	1,34
244	AD	Mittelhang	7,95	0,74	13,13	53,14	33,73	Tu3	1,53
191	AD	Oberhang	8,05	0,41	38,30	37,09	24,61	Ls3	1,40
195	AD	Oberhang	7,95	0,70	30,63	39,80	29,56	Lt2	1,08
197	AD	Oberhang	8,1	0,63	30,87	38,40	30,74	Lt2	1,09
194	AD	Tiefenlinie	8,4	0,53	19,55	43,82	36,63	Lt3	1,10
245	AD	Tiefenlinie vor Terrassenkante	7,9	0,95	2,68	58,99	38,33	Tu3	1,61
193	AD	Unterhang	8,1	0,51	28,96	42,83	28,21	Lt2	1,39
196	AD	Unterhang	8,05	0,64	11,52	52,32	36,16	Tu3	1,45
198	AD	Unterhang	7,9	0,66	11,63	50,72	37,65	Tu3	1,34
199	AD	Unterhang	8,2	0,79	13,85	50,87	35,28	Tu3	1,31
200	AD	Unterhang	7,8	0,95	33,30	40,39	26,31	Lt2	1,27



Foto 5.20: Sackung an einer Terrassenkante im Einzugsgebiet von Salada 1.

5.8.4 Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 1

Durch die starke anthropogene Nutzung des EZGes und dem vorangegangenen Pflügen ist die aktuelle Geomorphodynamik an diesem Standort nur schwer zu erfassen. Aufgrund der im

südlichen Bereich ansteigenden Hangneigung ist dort mit verstärkter Geomorphodynamik zu rechnen, wie Sackungen, Rillenspülung und *piping* an den vergleichsweise hohen Terrassenkanten zeigen. Die muldenförmigen Tiefenlinien deuten zudem potentielle Wege für konzentrierten Oberflächenabfluss auf der Klasse AD an. Die *gully*-Verfüllung zwischen 2004 und 2006 deutet ebenfalls auf stärkere geomorphodynamische Prozesse im EZG hin, als mit der Kartierung erfasst werden konnten. Der aktuellen Geomorphodynamik und somit auch der *gully*-Entwicklung ist die Tatsache eines überwiegend unbedeckten Bodens während des gesamten Jahres sehr förderlich, wodurch der *splash*-Effekt ungehindert wirken kann. Vor diesem Hintergrund sind auch die Ergebnisse der Substratuntersuchung zu betrachten, die nur eine mittlere Neigung zur Krustenbildung zeigen. Weiterhin führt die Versteilung der Hänge im südlichen Bereich des asymmetrischen EZGes zu fortschreitender Zerstörung der Terrassenkanten und dem Prozess der Rillenspülung, wie bei den Geländebegehungen 2004 festgestellt werden konnte (s. Foto 5.21). Wenn sich in einer der muldenförmigen Tiefenlinien Rillenspülung etablieren konnte, wie auf Foto 5.21 zu sehen, verbindet sie große Teile des EZGes, was zu beachtlichen Abflussmengen und Fließgeschwindigkeiten am *headcut* führen kann. Schon vor der *gully*-Verfüllung war der *headcut* einer der aktivsten der untersuchten *gullies* mit einer maximalen *retreat*-Rate von 0,51 m/a und einer progressiven Flächenentwicklung (s. Kapitel 3.2.4; Abb. 3.9). Die anthropogene *gully*-Verfüllung bremst die Entwicklung des *gullies*, jedoch finden die beschriebenen Prozesse im EZG weiter statt. Gründe für die bereits eingesetzte Erosion der anthropogenen Verfüllung könnte beispielsweise Quell- und Schrumpfdynamik des verhältnismäßig tonigen Substrats sowie der weiterhin bestehende hydraulische Gradient zwischen Mandelhain und *gully*-Boden sein.



Foto 5.21: Rillenspülung im Mandelhain von Salada 1 bei einer Geländebegehung 2004. Der Verlauf der Rille zeichnet den Verlauf einer muldenförmigen Tiefenlinie nach.

Kasten 5.8 Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 1.

- Die *headcut*-Entwicklung wird v. a. durch die unbedeckte Bodenoberfläche in einem großen Teil des EZGes (Klasse AD) gefördert – sogar in zweierlei Hinsicht: Zum einen kann der Niederschlag ungehindert auf die Bodenoberfläche treffen und führt so durch *splash* zu Verschlammung, was wiederum in einer stark verringerten Infiltrationskapazität resultiert, wodurch mehr Oberflächenabfluss entstehen kann. Zum anderen sind auch keine (Vegetations-)“Barrieren“ im EZG vorhanden, die dem Oberflächenabfluss entgegenstehen (wie die Klasse HGD an den Hangfußbereichen von MDH (s. Kap. 5.1.1)), so dass großen Mengen mit hohen Fließgeschwindigkeiten den *headcut* erreichen können. ISERLOH (2007: S. 40) konnte bei seinen Untersuchungen mit Beregnungsversuchen auf dem Mandelhain auch aufgrund der oben genannten Verhältnisse hohe bis sehr hohe *runoff*-Koeffizienten feststellen und unterstreicht damit die Vermutung hoher potentieller Abflussmengen in diesem EZG.
- Der *headcut* wird hauptsächlich durch rückschreitende Erosion hangaufwärts vergrößert. Angriffspunkte für diesen Prozess sind die Ränder von großen *piping*-Löchern, so dass der *gully* durch eine Kombination von *piping*-Prozessen und rückschreitender Erosion erweitert wird.
- Das homogene, lehmig-mergelige Substrat sowie die Nutzung des EZGes als Mandelplantage fördern die geomorphodynamische Aktivität an diesem Standort erheblich. OOSTWOUD WIJENES et al. (2000: S. 165) bestätigen dies in ihrer Untersuchung verschiedener *gullies* an der Rambla Salada und nennen die Verbindung der Nutzung als Madelhain mit den Eigenschaften des Substrats als zentralen Zusammenhang für eine starke *gully*-Entwicklung.

5.9 Gully Salada 3

Der *gully* SA3 (s. Foto 5.22) befindet sich in direkter Nachbarschaft zum *gully* SA1 (Kap. 5.8) und mündet ebenfalls in die Rambla Salada. Der größte Teil dieses langgestreckten und mit 1,4 ha relativ kleinen EZGes wird von der Klasse HGO eingenommen (s. Abb. 5.22, 5.23).



Foto 5.22: Der *gully* Salada 3 (MoGul-Luftbild) .

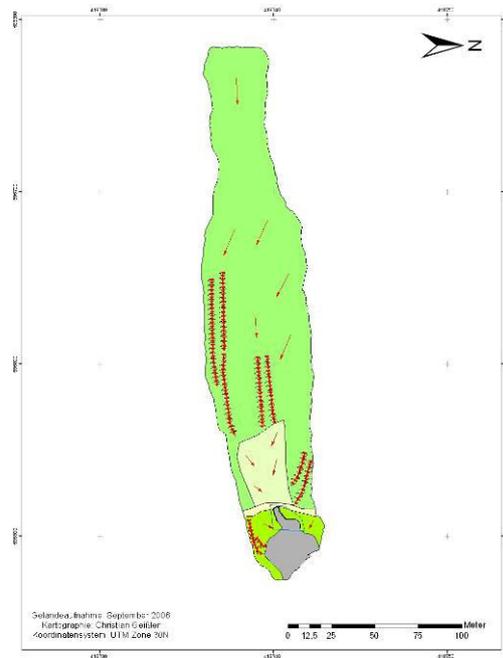


Abb. 5.22: Karte des Einzugsgebietes von Salada 3 (Größere Darstellung mit Legende in Anhang 2, Karte 9).

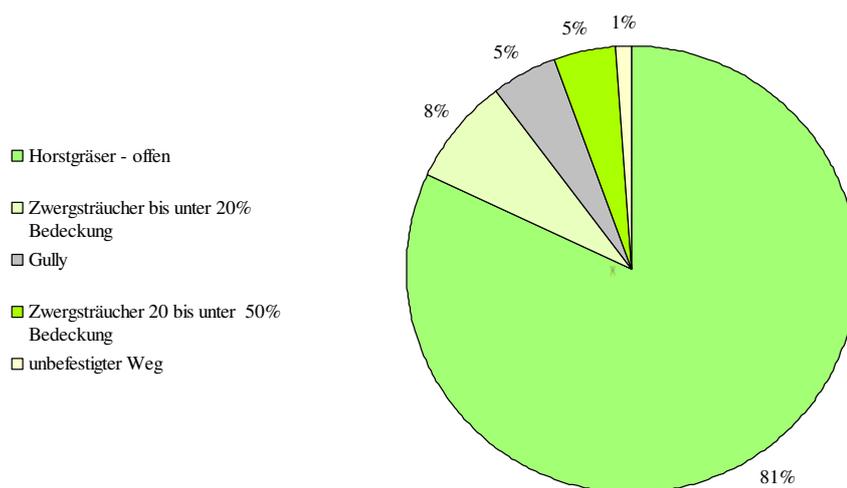


Abb. 5.23: Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Salada 3.

5.9.1 Landbedeckung

Der *gully* SA3 wird von der Klasse ZS50 flankiert. Der *headcut* befindet sich am Rand des quer durch das EZG verlaufenden, unbefestigten Weges, der den steileren *rambla*-nahen Bereich vom ausgesprochen flachen Teil, der offen mit Horstgräsern oder Zwergsträuchern bestanden ist, trennt. Die Horste erreichen hier Höhen von > 1 m; einzelne herausgerissene Sträucher lassen eine Bearbeitung vermuten, die allerdings wieder aufgegeben wurde. Schlämmkrusten mit eingebetteten Steinen sind ein weiteres Merkmal dieser Fläche. Die Fläche direkt westlich des *headcuts* ist nur gering bedeckt, die Oberfläche ist stark verschlammmt (s. Foto 5.23), zeigt aber einen geringeren Steinanteil an der Oberfläche.



Foto 5.23: Stark verschlammte, vegetationsfreie Bereiche zwischen einzelnen Zwergsträuchern auf der Klasse ZS20 wenige Meter westlich des *headcuts*.

5.9.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Im EZG von SA3 sind v. a. flächenhafte Abtragungsvorgänge wirksam. Oberflächenabfluss, der zwischen den mächtigen Horstgräsern entsteht, konzentriert sich mit zunehmender Hanglänge in parallel verlaufenden, muldenförmigen Tiefenlinien. Hier befinden sich Rillen, die jedoch nicht bis zum *headcut* weiterverfolgt werden konnten, so dass im *headcut*-Bereich vorwiegend flächenhafte Abtragsprozesse stattfinden und Oberflächenabfluss hier durchtransportiert werden kann.

5.9.3 Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 3

Aufgrund der geringen Hangneigung des leicht in Richtung Rambla Salada einfallenden EZGes und der Horstgräser ist ein Vergleich zum benachbarten *gully* SA1 schwierig. Die auf einer ehemaligen Ackerfläche offen stehenden Horstgräser lassen sowohl flächenhaften Abtrag als auch Konzentration von Oberflächenabfluss, teilweise in alten Pflugfurchen, zu (s. Foto 5.24). Der nahezu quadratische Bereich, der eine jüngere Brache direkt oberhalb des *headcuts* beschreibt, zeigt keine Anzeichen von Rillenbildung. Geringe Hangneigung, leicht versetzt stehende Vegetation und eine starke Verkrustung der vegetationsfreien Bereiche mindern das Risiko zur Rillenbildung.



Foto 5.24: Rillenspülung (in der Bildmitte, parallel zum Maßstab, Pfeile) zwischen Horstgräsern im Einzugsgebiet von Salada 3.

Im direkten Umfeld des *headcuts* konnten bei der Kartierung weder Rillenspülung noch Oberflächenformen festgestellt werden, was den Schluss nahe legt, dass Oberflächenabfluss den *gully* unkonzentriert erreicht, wofür auch die gleichmäßige Entwicklung auf der gesamten Breite des *headcuts* spricht (s. Abb. 3.11). Eine Berechnungssimulation von ISERLOH (2007: S. 46) erreichte auf dieser Zwergstrauchfläche einen *runoff*-Koeffizienten von 87%, was auf die stabilen Schlammkrusten zurückzuführen ist. Seitliche Abbrüche von Material, die schwerpunktmäßig zwischen 2004 und 2006 kartiert wurden, lassen zumindest am nördlichen Rand des *gullies* auf Rillenspülung, die nordöstlich auf der Klasse HGO kartiert wurde und über die Straße auf diesen

Bereich des *gullies* zuläuft, zurückführen. Jedoch sind eher gravitative Prozesse aufgrund der Nähe zur tiefgelegenen Rambla Salada für diese seitliche Erweiterung verantwortlich.

Kasten 5.9: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 3.

- Für die *gully*-Entwicklung ist diese nahezu quadratische Fläche der Klasse ZS20 westlich des *headcuts* von entscheidender Bedeutung. Hier wirken sich der geringe Bedeckungsgrad der Vegetation, eine starke Verschlammung der Oberfläche (s. Foto 5.24) und die räumliche Nähe zum *headcut* Abfluss fördernd aus. Ein *runoff*-Koeffizient von 87% (ISERLOH 2007: S. 46) bestätigt die starke Oberflächenabflussbildung auf dieser Fläche.
- Auf den freien Bereichen zwischen den Horstgräsern auf der Klasse HGO kann aufgrund der starken Verschlammung Oberflächenabfluss gebildet werden, der der Hangneigung entsprechend in Richtung der gering bedeckten Zwergstrauchfläche transportiert wird.
- Die räumliche Nähe zur tiefeingeschnittenen Rambla Salada fördert an den Seitenflanken des *gullies* das Abbrechen und Abstürzen von größeren Sedimentblöcken.

5.10 Gully Salada 4

Der *gully* SA4 hat mit 6,6 ha das viertgrößte EZG der untersuchten *gullies*. Der *gully* selbst nimmt 6% davon ein. Die Verteilung der Landbedeckungsklassen im EZG zeigt eine deutliche Dominanz der Trockenfeldbaunutzung, die mehr als 3/4 des EZGes einnimmt. Den zweitgrößten Flächenanteil hat die Klasse HGO (s. Abb. 5.24, 5.25).



Foto 5.25: Der *gully* Salada 4 (MoGul-Luftbild).

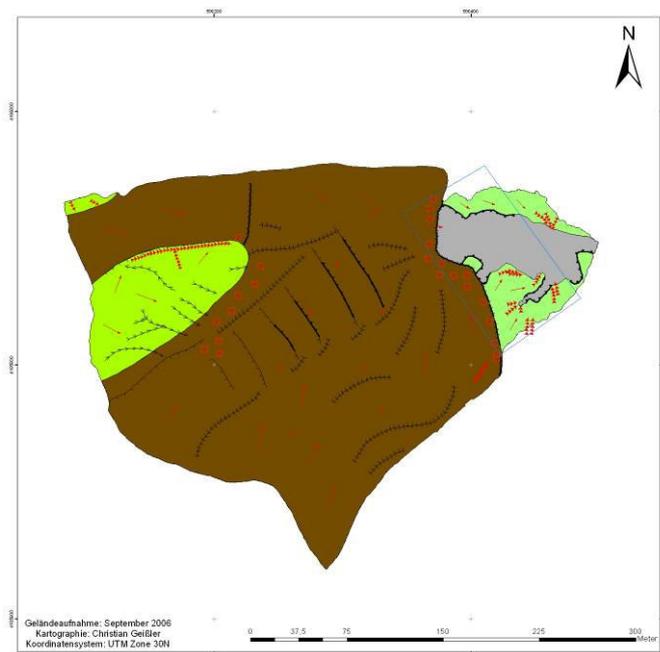


Abb. 5.24: Karte des Einzugsgebietes von Salada 4 (Größere Darstellung mit Legende in Anhang 2, Karte 10).

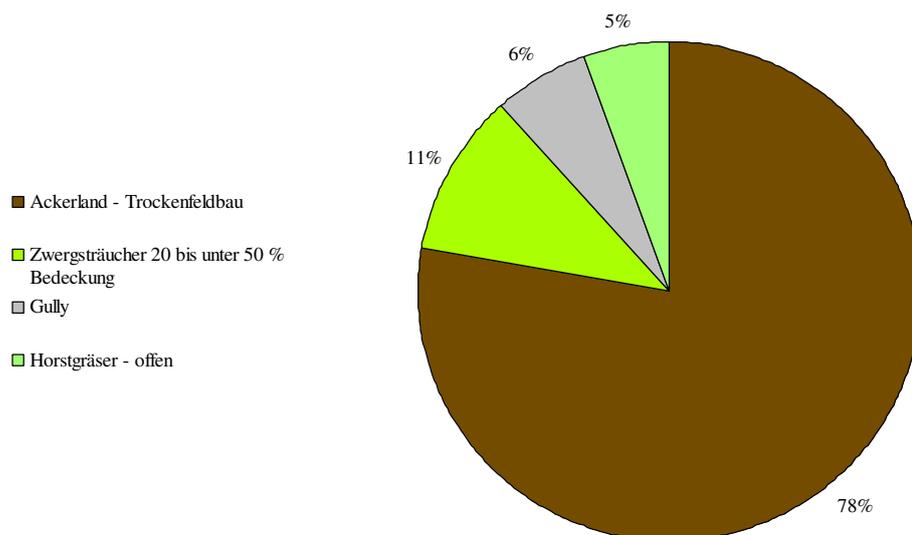


Abb. 5.25: Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Salada 4.

5.10.1 Landbedeckung

Das EZG von SA4 ist stark landwirtschaftlich geprägt. Die Trockenfeldbauflächen waren zum Zeitpunkt der Kartierung abgeerntet und wurden während der Aufnahme extensiv beweidet. Steine, abgestorbene Pflanzenreste und junge Pioniervegetation charakterisieren diese ansonsten unbedeckte Fläche. Von der westlichen EZGs-Grenze zieht sich ein schmaler Bereich der Klasse ZS50 in die Ackerfläche hinein, die in der nordwestlichen Ecke noch eine weitere, allerdings sehr begrenzte, Fläche einnimmt. Die Bodenoberfläche dieser Bereiche ist degradiert und durch eine hohe Steinbedeckung gekennzeichnet. Der *gully*, aus östlicher Richtung von der Rambla Salada kommend, ist von der Klasse HGO begrenzt, deren Bodenoberfläche deutliche Abtragserscheinungen zeigt (s. Foto 5.26). Zwischen den Horsten wechseln sich Bereiche dichter Steinbedeckung mit völlig unbedeckten Bereichen ab.



Foto 5.26: Ergebnis flächenhaften Abtrags ca. 10 m von der *gully*-Kante von Salada 4 entfernt auf der Klasse HGO. Die Bodenoberfläche in diesem Bereich ist stark verschlammte.

5.10.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Im EZG von SA4 sind deutliche Unterschiede in Bezug zu aktueller Geomorphodynamik und Oberflächenformen zu erkennen. Ein schmaler Bereich im westlichen EZG ist durch kerbförmige Tiefenlinien, Rillenspülung und flächenhaften Abtrag gekennzeichnet, während der diese Fläche umschließende Bereich durch muldenförmige Tiefenlinien, Terrassenkanten und großflächige Sedimentationsbereiche charakterisiert ist. Zudem verursachte eine Schaf- und Ziegenherde

Viehtritt. Die Sedimentationsbereiche markieren zum einen das Ende mehrerer kerbförmiger Tiefenlinien im Bereich westlich der Mitte des EZGes und zum anderen das Ende mehrerer zusammenlaufender, muldenförmiger Tiefenlinien, die an einem anthropogen aufgeschütteten Damm enden, der die Flächen oberhalb des *headcuts* vom *gully* trennt. Ein den *gully* nördlich und südlich begrenzender Bereich ist durch flächenhaften Abtrag und mehrere, auf den *gully* bzw. einem Seitenarm gerichtete Rillenspülung gekennzeichnet

5.10.3 Substrate

Im EZG von SA4 bilden v. a. lehmige Substrate den Untergrund. Proben von den wichtigsten Flächen im EZG (Klassen AT; ZS50) ergaben mittlere bis hohe Werte für die Verschlammungsneigung der Oberböden, wofür hauptsächlich der Schluffanteil mit Werten meist um 50% verantwortlich ist. Die Werte für organischen Kohlenstoff sind hier geringer als in den anderen EZGen (s. Tab. 5.8).

Tab. 5.8: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen für den Standort Salada 4 inkl. der Werte zur Verschlammungsneigung (IRFC).

Probe	Landbedeckung	Gelände-position	pH	C _{org} [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Boden-art	IRFC
204	ZS50	Tiefenlinie	8,0	0,44	28,68	51,43	19,90	Lu	2,54
205	AT	Mittelhang	8,1	0,36	28,26	48,37	23,37	Ls2	2,16
206	HGO	Sporn zwischen <i>gully</i> -Armen	7,9	0,55	42,50	35,20	22,30	Ls3	1,39
207	AT	Unterhang	7,7	0,44	18,97	51,28	29,75	Lu	1,78
208	AT	Mittelhang	8,0	0,27	30,31	48,39	21,30	Ls2	2,50
209	AT	Oberhang	7,9	0,38	27,50	49,97	22,52	Ls2	2,24

5.10.4 Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 4

Das EZG von SA4 ist ähnlich stark anthropogen geprägt wie das von SA1 (s. Kap. 5.8). Die Sedimentationsbereiche unterhalb der Zwergstrauchfläche sowie an dem Damm, der den *headcut* vom Rest des EZGes abtrennt, zeugen von starken Materialverlagerungen durch Oberflächenprozesse in diese tiefergelegenen Reliefbereiche. Auf der Zwergstrauchfläche, die einen Rest tertiärer Sedimente darstellt, zeigen kerbförmige Tiefenlinien Abflussbahnen, während im anthropogen genutzten Bereich muldenförmige Tiefenlinien Verbindungen zwischen unterschiedlichen Reliefpositionen belegen.

Die in ost-westlicher Richtung verlaufende Haupttiefenlinie ist hier, ähnlich wie bei SA1, mit Terrassen verbaut, um die erosive Hanglänge zu verkürzen und eine direkte Verbindung zum *gully* zu unterbinden. Unterhalb der Zwergstrauchfläche kommt es wegen der geringeren Hangneigung zur Sedimentation von Bodenmaterial, welches ansonsten direkt über die Haupttiefenlinie zum *headcut* transportiert werden würde. Direkt vor dem *headcut* verhindert der aufgeschüttete Damm, das erodiertes Material und Oberflächenabfluss den *headcut* erreicht. Vor dem Damm kommt es zur Sedimentation von Material. *Piping*-Prozesse, die ähnlich wie bei SA1 dennoch wirksam sein könnten, wurden hier nicht beobachtet. Jedoch kam es durch die starke Sedimentation von Material aus dem EZG lokal zu einer Erhöhung des Reliefs, so dass ankommender Oberflächenabfluss den Damm bereits an mehreren Stellen angreifen konnte (s. Foto 5.27). Dennoch konnte im Beobachtungszeitraum (1998-2006) keine wesentliche Entwicklung des *gullies* festgestellt werden. OOSTWOUD WIJDENES et al. (2000: S. 165) bestätigen mit ihren Untersuchungen an der Rambla Salada die Effektivität solch einfacher Maßnahmen wie aufgeschütteten Dämmen.



Foto 5.27: *Gully* Salada 4: Der etwa 60 cm hohe Damm, der die *gully*-Erweiterung verhindert. Im Hintergrund die Terrassierung, die die Haupttiefenlinie kreuzt.

Kasten 5.10: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Salada 4.

- Die Zwergstrauchfläche an der westlichen Grenze des EZGes (ZS50) ist stark durch Erosion des Feinmaterials betroffen. Das durch kerbförmige Tiefenlinien transportierte Material wird jedoch nur wenige Meter weiter in einem deutlich flacheren, terrassierten Teil der Ackerfläche abgelagert. Die Terrassierung der Flächen führt zu einer geringeren Hangneigung und Hanglänge, was eine abfluss- und erosionsmindernde Wirkung hat.
- Die das EZG dominierende Klasse AT ist durch ihren zeitlich variablen Bedeckungsgrad nur schwer einzuschätzen. Anreicherungen von Steinen in höhergelegenen Bereichen und die starke Sedimentation vor dem Damm zeugen hier von hoher geomorphodynamischer Aktivität. Muldenförmige Tiefenlinien sind potentielle Wege für konzentrierten Oberflächenabfluss, ähnlich wie im stark genutzten EZG von SA1 (s. Kap. 5.8). Hier ausgebildete Schlämmkrusten werden durch Viehtritt zerstört, was den Sedimentaustrag von dieser Fläche erhöht. Die Untersuchungen mittels Beregnungsversuchen von ISERLOH (2007: S. 47f.) ergaben hohe bis sehr hohe Werte für Oberflächenabfluss und Sedimentaustrag auf dieser Klasse und bieten so Erklärungsansätze für die kartierten Prozesse und Formen.
- Der durch den Landwirt aufgeschüttete Damm, der den *gully* vom darüberliegenden Acker trennt, konnte die *gully*-Entwicklung in dieser sonst stark von *gully*-Erosion betroffenen Landschaft an der Rambla Salada bremsen.

5.11 Gully Luchena

Der *gully* Luchena hat mit 0,15 ha das kleinste EZG aller untersuchten *gullies*. Etwa 17% des EZGes nimmt der *gully* selbst ein. Den Rest bedeckt die Klasse HGO (s. Abb. 5.26, 5.27).



Foto 5.28 Der *gully* Luchena (Mogul-Luftbild).

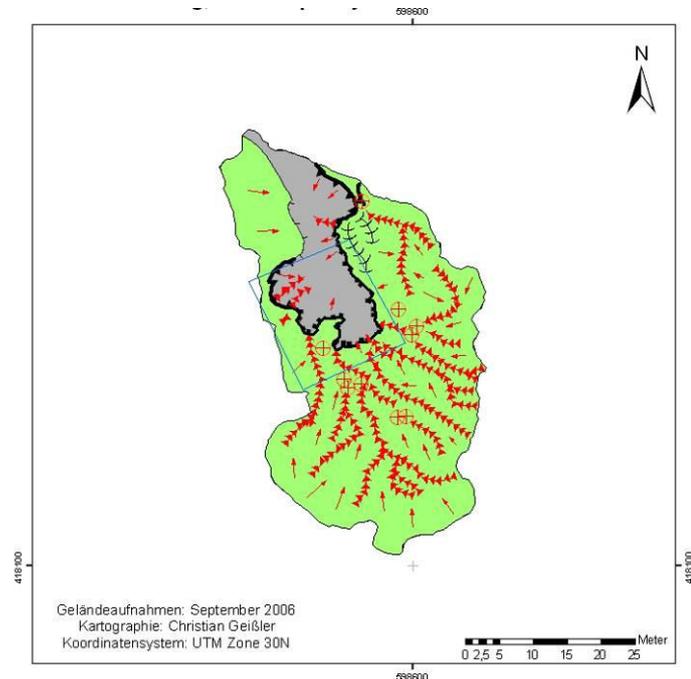


Abb. 5.26: Karte des Einzugsgebietes von Luchena (Größere Darstellung mit Legende in Anhang 2, Karte 11).

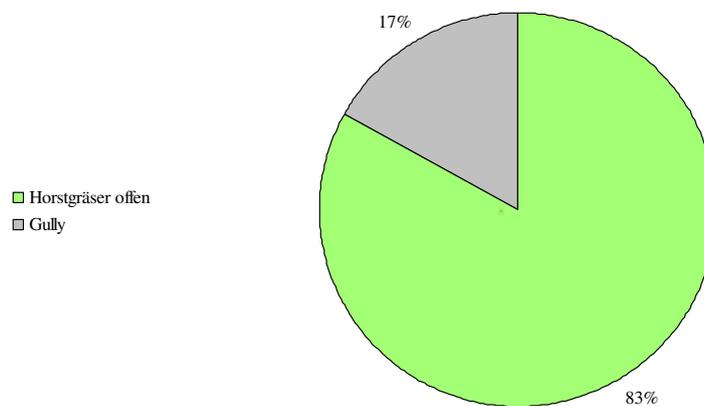


Abb. 5.27: Flächenverteilung im Einzugsgebiet von Luchena.

5.11.1 Landbedeckung

Durch die geringe Größe des EZGes bedingt sich auch seine Homogenität. Die einzige Landbedeckungskategorie im EZG ist die Klasse HGO, stellenweise sind auch Zwergsträucher auf dieser Landbedeckungskategorie vertreten. Die vegetationsfreien Bereiche sind fast ausschließlich

mit Schlammkrusten und selten mit Pflanzenresten bedeckt und zeigen an vielen Stellen deutliche Spuren fließenden Wassers.

5.11.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Der *gully* LU setzt sich durch eine scharfe Kante deutlich von seinem EZG ab. Die hohe Stufe am *headcut*-Bereich sorgt für starke geomorphodynamische Aktivität im EZG, das v. a. von flächenhaftem Abtrag (s. Foto 5.29) und einer sehr hohen Rillendichte gekennzeichnet ist. An kleineren Verebnungen in Relief sind die Rillen stellenweise unterbrochen und Sedimentation findet statt. Darunter setzen sich die Rillen, die zu einem wesentlichen Teil direkt auf den *gully* zulaufen, meist fort. An der *gully*-Kante, v. a. am *headcut*, sind *piping*-Prozesse aktiv.



Foto 5.29: Zeichen flächenhaften Abtrags im Einzugsgebiet von Luchena. Die Reliefniedrigung während der Lebenszeit dieses Strauchs beträgt ca. 30 cm.

5.11.3 Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik am Standort Luchena

Der *gully* LU ist aufgrund der Homogenität des EZGes eine Besonderheit, die durch die geringe Größe des EZGes (0,15 ha) bedingt ist. Das gesamte EZG ist von offener Horstgrasvegetation bestanden, die Bereiche zwischen den Horsten sind meist mit Schlammkrusten bedeckt (s. Foto

5.30). Da die geringe Vegetationsbedeckung das Substrat nur unzureichend vor der Wirkung des *splash*-Effektes schützt, kann es aufgrund der herabgesenkten Infiltrationskapazität verstärkt zu Oberflächenabfluss und flächenhaftem Abtrag kommen. Dieser konzentriert sich der Topographie und den Pflanzenstandorten entsprechend, so dass im gesamten EZG Rillenspülung stattfindet.

Die *headcut*-Entwicklung im Beobachtungszeitraum zeigt keinen deutlichen Schwerpunkt bei der Entwicklung des *gullies*. Zwischen 1998 und 2002 brach ein Sedimentblock im östlichen Teil ab, ansonsten konnte sich der *gully* besonders zwischen 2004 und 2006 weiterentwickeln (s. Abb. 3.12). Die Weiterentwicklung des *gullies* ist hier auch durch die geringe Größe des EZGes limitiert. Durch die dicht gescharten Rillen, deren schmale, langgezogene EZGe dicht aneinander grenzen, erreicht möglicherweise zu wenig Oberflächenabfluss pro Rille den *headcut*, um erosiv wirksam zu werden. Positiv auf die *headcut*-Entwicklung wirkt sich vorrangig die geringe Vegetationsbedeckung aus, die den Boden vor *splash* nicht zu schützen vermag (s. Foto 5.31) sowie die räumliche Nähe der spärlich mit Vegetation bedeckten, stark verschlammten Bereiche, so dass Oberflächenabfluss den *headcut* schnell erreichen kann.



Foto 5.30: Verschlammte Bodenoberfläche im Einzugsgebiet von Luchena.

Kasten 5.11: Landbedeckung und aktuelle Geomorphodynamik am Standort Luchena.

- Die verschlammte Oberfläche, starke, flächenhafte Abtragungsvorgänge (s. Foto 5.30, 5.29) und eine hohe Rillendichte zwischen den Horstgräsern sprechen für eine hohe Abtragsintensität in diesem EZG.
- Die räumliche Nähe dieser verschlammten, gering mit Vegetation bedeckten Flächen zum *headcut* bzw. zum gesamten *gully* fördert die *gully*-Entwicklung, da Oberflächenabfluss sich schnell vereinigen, den *headcut* erreichen und dort wirksam werden kann. Der hydrologische Gradient, der durch die hohe Stufe zur Rambla Salada verursacht wird, beschleunigt die Prozesse im EZG zusätzlich, weswegen auch *piping* am *headcut* zu beobachten ist. Ein limitierender Faktor ist hier die geringe EZG-Größe.

5.12 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Die kombinierte Kartierung von Landbedeckung (Landnutzung/Vegetation), aktueller Geomorphodynamik (Oberflächenprozesse) und Oberflächenformen (Topographie im weiteren Sinne) ist eine gute Möglichkeit, EZGe von *gullies* zu charakterisieren und Erklärungsansätze für aktuelle geomorphologische Prozesse, die zur Erweiterung dieser Erosionsform beitragen, zu liefern.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden elf *gully*-EZGe (zwei in Nordspanien; neun in Südspanien) bearbeitet. Die Kartierung umfasste drei Ebenen, die in allen EZGen kartiert wurden.

- **Kartierebene 1: Landbedeckung.** Hier wurde in anthropogen genutzte und mit Vegetation bestandene Flächen unterschieden. Die anthropogen genutzten Bereiche wurden anhand ihrer Nutzungsform (Trockenfeldbau, Dauerkultur mit Mandeln, Oliven) klassifiziert, die mit Vegetation bestandenen Bereiche nach dem vorherrschenden Vegetationstyp (Zwergsträucher, Horstgräser) und dessen Bedeckungsgrad (bis unter 20%, 20 bis unter 50% und 50 bis 80% Bedeckung sowie offen und dicht) (s. Kap. 4.2.2).
- **Kartierebene 2: aktuelle Geomorphodynamik.** Die Kartierung erfolgte anhand ausgewählter Legendeinheiten des Kartierschlüssels von LESER & STÄBLEIN (1975: S. 79ff.) mit einem Schwerpunkt auf den aktuellen Prozessen (s. Kap. 4.2.3).
- **Kartierebene 3: Oberflächenformen.** Die Einheiten wurden ebenfalls nach der Kartieranleitung von LESER & STÄBLEIN (1975) zusammengestellt (s. Kap. 4.2.3), wobei besonderer Wert auf Stufen und Kanten sowie Kleinformen gelegt wurde.

Die Größen der EZG variieren stark. Das größte EZG (MDH, 30 ha) ist etwa 200 mal größer als das kleinste EZG (LU, 0,15 ha). KIRKBY et al. (2005: S. 152) betonen die Wichtigkeit der Größe des EZGes, da in größeren EZGen die Variabilität der Landbedeckung und der Eigenschaften der Bodenoberflächen höher ist. Dadurch kommt es in großen EZGen aufgrund längerer Fließwege zur Haupttiefenlinie bzw. zum *headcut* und möglichen Hindernissen zu einer langsameren, weniger intensiven Reaktion auf Niederschlagsereignisse. Im Gegenzug können kleinere EZGe, in denen die meisten Flächen in der Nähe der Haupttiefenlinie liegen schneller eine Reaktion zeigen.

Die Landbedeckung der verschiedenen EZGe ist sehr unterschiedlich. Bei den meisten *gullies* dominieren jedoch unabhängig von der Größe des EZGes eine oder zwei Bedeckungsklassen (s. Tab 5.9). Dies sind meist Klassen geringer oder variabler Bedeckungsgrade. Allein aufgrund der dominierenden Landbedeckungsklassen lässt sich die *gully*-Entwicklung jedoch nicht erklären, da in allen EZGen Klassen geringer Bedeckung große Flächenanteile einnehmen. Jedoch ist die

Topographie der EZGe ein zentraler Faktor für die Verteilung der Landbedeckung (CANTON et al. 2004: S. 361) und die aktuelle Prozessdynamik (DE SANTISTEBAN 2005: S. 597ff.; HIDALGO et al. 1990: S. 415; KIRKBY et al. 2002: S. 1470f.; VALENTIN et al. 2005: S. 138; VANDEKERCKHOVE et al. 2000: S. 56). Da in den untersuchten Gebieten jeder nutzbare Bereich genutzt wird oder wurde, ergibt sich die Kombination Vegetation/Landnutzung (=Landbedeckung) meist aus steileren, exponierten Reliefbereichen (offener, niedriger Matorral) und flacheren und/oder stark anthropogen veränderten Reliefbereichen (teilweise terrassierter Trockenfeldbau bzw. Dauerkultur).

Tab. 5.9: Flächenzunahme der *gullies* und dominierende Landbedeckungsklassen im Einzugsgebiet

Gully	Einzugsgebietsgröße in (ha)	Flächenzunahme [m ² /a]	Dominierende Landbedeckung im Einzugsgebiet
Salada 1 (SA1)	24,7	34,31	- Ackerland - Dauerkultur (84%)
Barranco Rojo (BR)	13,7	3,7	- Ackerland - Trockenfeldbau (35%); - Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung (27%) - Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung (65%)
Freila A (FR-A)	5,0	2,7*	- Keine Vegetationsbedeckung (13%)
Salada 3 (SA3)	1,4	2,54	- Horstgräser - offen (81%)
Luchena (LU)	0,15	1,29	- Horstgräser - offen (83%)
Casablanca (CA)	1,9	1,21	- Ackerland - verlassen (51%)
Freila B (FR-B)	1,3	0,9	- Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung (41%); - Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung (28%)
María de Huerva (MDH)	30,7	0,38	- Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung (28%) - Horstgräser - dicht (22%)
Salada 4 (SA4)	6,6	0	- Ackerland - Trockenfeldbau (78%)
Negratín 3 (NE3)	0,48	0	- Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung (34%) - Pinien-Aufforstung (29%)
Negratín 1 (NE1)	0,45	0	- Ackerland - Trockenfeldbau (50%)

* = Seiten-*headcut*

Vergleicht man die Untersuchungsgebiete hinsichtlich der Landbedeckung (s. Kreisdiagramme), fällt auf, dass Flächen dichter Vegetationsbedeckung (HGD, ZS80) in größeren Anteilen in den nordspanischen EZGen im **Valle de Huerva** (MDH, BR) kartiert wurden. Hier wirkt sich möglicherweise der geringfügig höhere Niederschlag sowie das Relief, das mehr verschattete Bereiche zulässt, positiv auf die Vegetation aus. HIDALGO et al. (1990: S. 415) sowie KIRKBY et al. (1990: S. 50) betonen die Wichtigkeit der Exposition eines Hanges in einer semi-ariden Landschaft für Prozesse der Bodenerosion. Ansonsten bilden die EZGe von MDH und BR einen starken Gegensatz, da bei MDH Vegetation das EZG dominiert, während im EZG von BR die landwirtschaftliche Nutzung im Trockenfeldbau prägend ist. Dadurch erklärt sich auch die größere Dynamik am *headcut* des *gullies* BR.

Von den *gullies* an der **Cuenca del Guadalentín** (SA1, SA3, SA4, LU) werden zwei EZGe intensiv landwirtschaftlich genutzt (SA1, SA4), während die anderen nicht mehr (SA3) oder noch nie (LU) genutzt wurden. Die nicht genutzten Bereiche in den EZGen von SA1 und SA4 sind generell ebenso nur gering mit Vegetation bedeckt wie die EZGe von SA3 und LU (v. a. Klasse HGO). Trotz der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung an der Rambla Salada und des leicht erodierbaren Substrats sind die EZGe von SA1 und SA4 nur an wenigen, aber zentralen Stellen (Haupttieflinie) terrassiert. Dennoch ist die Entwicklung der *gullies* SA1 und SA4 sehr unterschiedlich. Zwar wird die Verbindung zwischen den geringbedeckten landwirtschaftlichen Flächen und den *Gullies* an den *headcuts* durch Aufschütten von Dämmen unterbrochen, jedoch zeigt der Damm nur bei SA4 Wirkung. Als Erklärung kommt das deutlich tonigere Substrat im EZG von SA1 infrage, das generell zu stärkerer Rissbildung und zu *piping* neigt (BRYAN & JONES 1997: S. 211; GUTIÉRREZ et al. 1997: S. 251f.; POESEN et al. 2002: S. 238) und so den Damm aufzehrt. Zudem ist das EZG von SA1 deutlich größer.

An der **Hoya de Baza** spielt aktuelle landwirtschaftliche Nutzung nur eine untergeordnete Rolle. Die Bodenoberflächen und die Vegetation sind hier stark degradiert. Charakteristisch sind hier weite Flächen, die nur gering mit Zwergsträuchern (fast ausschließlich *Rosmarinus officinalis*) bedeckt sind (v. a. FR-A, FR-B, NE3). Die Vegetation erreicht in Tiefenlinien aufgrund besserer Verfügbarkeit von Bodenwasser größere Wuchshöhen und höhere Bedeckungsgrade. Dieser Übergang von der „diffusen“ zur „kontrahierten Vegetation“ (MÜLLER-HOHENSTEIN 1981: S. 113f.) sowie verbreitete vegetationslose Bereiche sind ein Zeichen zunehmender Aridität an der Hoya de Baza im Gegensatz zu den anderen Untersuchungsgebieten. Verbreitete Aufforstungen mit Pinien in den EZGen am Negratín-Stausee sollen den Zustand der Böden verbessern.

Die aktuelle Geomorphodynamik und die Oberflächenformen in den EZGen orientieren sich an der Topographie und dadurch auch an der Landbedeckung (s.o.). Grundsätzlich zeigen stark reliefierte EZGe naturgemäß eine höhere aktuelle Geomorphodynamik und mehr Oberflächenformen (bspw. MDH, BR) als flachere, homogenere Einzugsgebiete (bspw. SA3).

Aktuelle Geomorphodynamik wurde hauptsächlich in den nicht genutzten, mit Zwergstrauchbeständen und Horstgräsern bestandenen Bereichen kartiert, wo je nach Geländeform auch viele Oberflächenformen kartiert werden konnten. In den landwirtschaftlich genutzten Bereichen gewinnen die Oberflächenformen eine größere Bedeutung, da die Kartierung der aktuellen Geomorphodynamik durch regelmäßige Bearbeitung (Pflügen, Eggen, Walzen) oft problematisch ist (s. Kap. 7.1.2). So können Oberflächenformen wie Tiefenlinien oder Terrassenkanten als Pfade und Hindernisse für Oberflächenabfluss in landwirtschaftlich genutzten Bereichen gesehen werden (bspw. EZGe von BR, SA1, SA4).

Vergleicht man die Aktivität der *gully-headcuts* (s. Tab. 3.4, 5.9) mit den Ergebnissen der EZGs-Kartierungen können, zwei Schlussfolgerungen gezogen werden:

- (1) Die *headcut*-Entwicklung wird durch das Vorhandensein von (zumindest zeitweise) unbedeckten Bodenoberflächen in der näheren Umgebung begünstigt, da dort entstehender oder von anderen Flächen ankommender Oberflächenabfluss den *headcut* schnell erreichen und morphologisch wirksam werden kann. An den aktivsten *gullies* sind Flächen mit sehr geringer Bedeckung, wie die Dauerkultur (SA1), Trockenfeldbauflächen (BR) oder nur spärlich oder gar nicht mit Vegetation bedeckte, stark verschlammte Bereiche (FR-A, SA3, LU) in der direkten Umgebung der *headcuts* kartiert worden. Die *gullies* NE1 und NE3 stehen dazu dennoch im Gegensatz. Trotz nur gering bedeckter Flächen in der *headcut*-Umgebung konnte keine Zunahme der Fläche der *gullies* beobachtet werden. Grund könnte die geringe Größe der EZGe sein, an denen der jeweilige *gully* einen deutlich höheren Anteil hat (NE1: 32%; NE3: 10%) als in den anderen EZGen ($\emptyset = 4\%$).
- (2) Wichtig sind dennoch die Eigenschaften der gesamten EZGe hinsichtlich der Landbedeckung in Verbindung mit der aktuellen Geomorphodynamik. Mit steigender Größe der EZGe (s. Tab. 5.1) steigt die Entfernung der einzelnen Flächen zum *gully* bzw. zum *headcut* (s. Anhang 2, Karten) und die Anbindung dieser Flächen an die Haupttiefenlinie und den *gully* gewinnt an Bedeutung. KIRKBY et al. (2002: S. 1459) bezeichnen die Anbindung einzelner Bereiche (*source areas*) an eine Tiefenlinie (*channel*) als *connectivity*:

„Connectivity is a function of the potential runoff produced by an area, [...], and the existence of structures, that either prevent runoff reaching channels such as dams and terraces or those that encourage connection such as roads and tracks“ (KIRKBY et al. 2002: S. 1472).

BRACKEN & CROKE (2007: S. 1754) heben ebenfalls hervor, dass EZGe Unterschiede in ihrer „hydrological response“ auf Niederschlag aufweisen, was sie v. a. auf Verkrustung,

Rauhigkeit der Bodenoberfläche, unterschiedliche Dichte der Vegetation, Topographie und Landnutzung zurückführen.

POESEN et al. (2003: S. 91) heben hervor, dass die *gullies* selbst die *connectivity* in einer Landschaft erhöhen, da sie „*links*“ für Oberflächenabfluss und Sediment von höhergelegenen Bereichen in tiefergelegene Bereiche (Talböden oder *ramblas*) darstellen. Die kartierte Rillenspülung bzw. die Tiefenlinien fungieren in den untersuchten EZGen einerseits als Zeichen verstärkter Erosion in bestimmten Teilbereichen, andererseits aber auch als *links* zwischen geomorphodynamisch aktiveren Bereichen und der Haupttiefenlinie bzw. dem *gully*.

Am *gully* MDH (Kap. 5.1) stellt die dichte Horstgrasvegetation für den auf den darüberliegenden Hängen produzierten Oberflächenabfluss eine Barriere dar. Wenn dieses Hindernis aber überwunden wird, ist der Anschluss an eine weitere Rille gegeben und Oberflächenabfluss kann die Umgebung des *headcuts* erreichen (s. Anhang 2, Karte 1). Dort bildet aber das flachere Relief ein topographisches Hindernis, so dass konzentrierter Oberflächenabfluss den *headcut* nicht erreichen kann und es dort verstärkt zu Sedimentation von Material kommt, wofür die Terrassierung der ehemals genutzten Flächen im *headcut*-Umfeld verantwortlich ist.

In den stark landwirtschaftlich geprägten EZGen (BR, SA1, SA4) wird durch die Terrassierung versucht, die *connectivity* zu unterbinden. *Piping* und Rillenspülung an Terrassenkanten in diesen EZGen (s. Foto 5.7, 5.20, 5.21) zeigen die Aktivität dieser Flächen, die ansonsten aufgrund regelmäßiger anthropogener Bearbeitung keine aktuellen Prozesse aufweisen. Da das EZG von SA1 nicht vollständig terrassiert ist, deuten durchgehende, muldenförmige Tiefenlinien potentielle Wege für konzentrierten Oberflächenabfluss zum *headcut* an. Dass diese Tiefenlinien tatsächlich weite Teile des EZGes verbinden, konnte bei einer früheren Geländebegehung beobachtet werden (s. Foto 5.21). Am Standort SA1 sind außerhalb der terrassierten Bereiche keine Barrieren wie Hangverflachungen oder dichte Vegetation vorhanden, was die *connectivity* im Sinne von KIRKBY et al. (2000: S. 1472) für diesen Standort erhöht. Dadurch erklärt sich möglicherweise die hohe Aktivität des *gullies* SA1 (s. Kap 3.2.4; Abb. 3.9), die für *gullies* an der Rambla Salada mit den genannten EZG-Eigenschaften typisch ist (OOSTWOUDE WIJDENES et al. 2000: S. 165). Im Gegensatz dazu zeigt das EZG von SA4 (Kap. 5.5), dass einfache Erdwälle die *connectivity* unterbrechen können.

6 Ergebnisse II: Aktuelle Geomorphodynamik auf den Landbedeckungsklassen

In diesem Kapitel werden die einzelnen Landbedeckungsklassen im Hinblick auf die aktuelle Geomorphodynamik näher betrachtet. Die digitalisierten Kartenlayer werden mittels des „*intersect*“-Tools (s. Kap. 4.3.4) verschnitten. Ziel ist es herauszufinden, ob sich in den Ergebnissen für die einzelnen Klassen ein Trend der aktuellen Geomorphodynamik über die EZGe hinweg erkennen lässt, d.h. ob es möglich ist, von der Landbedeckung (Vegetation/Landnutzung) auf die aktuelle Prozessdynamik zu schließen. Verschnitten werden die einzelnen Legendeneinheiten der aktuellen Geomorphodynamik (Rillenspülung, flächenhafter Abtrag, *piping*, Akkumulation, Viehtritt) mit den Flächen der Landbedeckungsklassen (ZS20, ZS50, ZS80, HGO, HGD, AT, AD). Dabei ist die Legendeneinheit „Rillenspülung“ die einzige linienhafte Einheit, die in ihrer Länge pro Landbedeckungsklasse quantifiziert werden kann. Die anderen Legendeneinheiten stellen punkthafte Elemente dar, die nur das Vorkommen des Prozesses unabhängig von der Intensität andeuten (s. Kap. 4.2.3).

In die Beschreibung und Interpretation der Klassen werden weitere Oberflächeneigenschaften (Hangneigung, Stein-, Krusten-, Unterwuchsbedeckung, Geländedeposition), die im Gelände beobachtet wurden, mit einbezogen, um die Klassen besser einschätzen zu können (s. Kap. 4.2.2). Die Ergebnisse der Verschneidung werden im Folgenden beschrieben und interpretiert.

6.1 Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung (ZS20)

Die Klasse ZS20 wurde in sieben der elf untersuchten EZGe kartiert. Den größten Flächenanteil am EZG (28%) sowie die größte Gesamtflächengröße (8,9 ha) hat diese Klasse am *gully* MDH. Ebenfalls mit hohen 28% ist diese Klasse im EZG von *gully* FR-B vertreten, die Flächengröße beträgt dort jedoch lediglich 0,36 ha (s. Tab. 6.1).

Die Flächen dieser Klasse liegen meist an den Hängen der EZGe. Neben der Vegetation sind für diese Standorte grundsätzlich ein hoher Anteil an Schlämmkrusten an den Bodenoberflächen charakteristisch (s. Foto 5.23). Nur die Fläche im EZG von *gully* NE3 sticht durch ihren hohen Anteil an kantengerundeten Steinen an der Oberfläche heraus, jedoch sind auch hier die freigespülten Bereiche stark verschlämmt (s. Foto 5.14). Die Hangneigungen variieren stark von geringen 7° (SA3) bis zu hohen 30° und mehr (MDH, BR). Ebenso ist keine Gemeinsamkeit bei der Exposition zu erkennen. Die Flächen bei MDH, BR und FR-A sind v. a. südlich bis westlich orientiert, wohingegen Flächen der Klasse ZS20 bei SA1, NE3 und FR-B nördliche oder östliche Expositionen aufweisen.

Allen Flächen dieser Klasse gemeinsam ist der Prozess des flächenhaften Abtrags, unabhängig von den kartierten Rillenmetern am jeweiligen Standort. *Piping* wurde nur an einem der sieben Standorte kartiert, Akkumulation an zweien und Viehtritt an drei der sieben Standorte. Die Werte für die kartierte Rillenspülung bewegen sich auf hohem Niveau, jedoch konnte an zwei Standorten, an denen die Bedeckungsklasse vorkommt, keine Rillenspülung beobachtet werden (NE3, SA3) und an einem Standort (FR-B) nur ein sehr niedriger Wert (s. Tab. 6.1).

Tab. 6.1: Verschneidung der Klasse „Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung“ mit der aktuellen Geomorphodynamik.

Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung							
Eigenschaften der Klasse	MDH	BR	SA1	NE3	FR-A	SA3	FR-B
Rillenspülung	253,6	283	326,6	0	399	0	28,94
Flächenhafter Abtrag	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Piping</i>	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Akkumulation	nein	nein	ja	ja	nein	nein	nein
Viehtritt	ja	ja	nein	ja	nein	nein	nein
Anteil am EZG (%)	28%	11	5	34	4	8	28
Flächengröße im Einzugsgebiet [ha]	8,90	1,47	1,25	0,20	0,20	0,11	0,36

Kasten 6.1: Aktuelle Geomorphodynamik auf der Klasse „Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung“.

Die Bodenoberflächen dieser Bedeckungsklasse sind aufgrund der geringen Vegetationsbedeckung gegenüber der Wirkung der *splash*-Erosion größtenteils ungeschützt. Eine Verschlammung der Oberfläche als Folge der Wirkung des *splash*-Effektes konnte in allen EZGen, in denen diese Klasse kartiert wurde, beobachtet werden. Flächenhafter Abtrag ist auf diesen Flächen grundsätzlich vorhanden, jedoch in unterschiedlicher Intensität, was sich u. a. durch verschieden hohe Wuchshügel der Vegetation ausdrückt. Neben flächenhaftem Abtrag ist diese Klasse der Zwergsträucher von starker Rillenspülung betroffen, was im Wesentlichen auf große Hangneigungen (MDH, BR, SA1) oder große Hanglängen (FR-A) zurückgeführt werden kann. Die Abweichung der Werte für Rillenspülung einzelner Flächen (NE3, SA3, FR-B) vom allgemeinen Trend erklärt sich aus der geringen Größe der Flächen (SA3, NE3) oder aus den weiteren Oberflächeneigenschaften (Steinbedeckung, Hangneigung).

6.2 Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung (ZS50)

Die Klasse ZS50 wurde in sechs der elf Untersuchungsgebiete kartiert. Den höchsten Flächenanteil am EZG hat die Klasse mit 54% am *gully* FR-A, die größte Gesamtfläche hat die Klasse mit 3,76 ha im EZG von BR (27% Anteil) (s. Tab 6.2).

Tab. 6.2: Verschneidung der Klasse „Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung“ mit der aktuellen Geomorphodynamik.

Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung						
Eigenschaften der Klasse	MDH	BR	SA4	FR-A	CA	FR-B
Rillenspülung [m/ha]	81,26	90,92	126,62	64,09	69,76	129,88
Flächenhafter Abtrag	ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Piping</i>	ja	ja	nein	nein	nein	ja
Akkumulation	nein	nein	nein	ja	nein	ja
Viehtritt	nein	ja	nein	nein	nein	nein
Anteil am EZG [%]	7	27	11	54	25	41
Flächengröße im Einzugsgebiet [ha]	2,00	3,76	0,84	2,70	0,85	0,52

Auch diese Klasse befindet sich überwiegend an mehr oder weniger steilen Hängen in den EZGen, die nie landwirtschaftlich genutzt wurden. Außer der Vegetation wurden auf dieser Landbedeckungsklasse ein höherer Anteil an Flechtenkrusten (MDH und BR), ein erhöhter Steinanteil an der Oberfläche (SA4, FR) und ein erhöhter Anteil an toter Pflanzensubstanz (CA) gegenüber der vorangegangenen Klasse beobachtet. Die Erhöhung der Anteile der genannten Oberflächeneigenschaften geht meist zu Ungunsten der Anteile an Schlämmkrusten. Die Hangneigungen der Flächen schwanken auch in dieser Bedeckungsklasse stark. In den nordspanischen EZGen (MDH, BR) erreichen die Hangneigungen auf dieser Bedeckungsklasse teilweise 30° und mehr, während sie in Südspanien Neigungen bis 20° (SA4, FR-A) oder auch nur bis 5° (CA) aufweisen. Die Flächen dieser Klasse sind meist in nördliche Richtungen exponiert (MDH, BR, FR), nur wenige sind südlich oder südwestlich exponiert (SA4, CA).

Im Vergleich zur Klasse ZS20 sind die Werte für Rillenspülung auf dieser Klasse auf einem niedrigeren Niveau, dennoch stechen auch hier Werte deutlich heraus (FR-B, FR-A). Auch bei dieser Bedeckungsklasse ist auf allen Flächen flächenhafter Abtrag kartiert worden. *Piping* konnte auf dieser Klasse in drei der sechs EZGe festgestellt werden, Akkumulation auf zwei und Viehtritt nur in einem EZG (s. Tab 6.2).

Kasten 6.2: Aktuelle Geomorphodynamik auf der Klasse „Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung“.

Aufgrund der erhöhten Anteile an der Bedeckung durch Flechtenkrusten, Steine und toter Pflanzensubstanz ist die Bodenoberfläche dieser Klasse meist besser gegen die erosive Wirkung des fallenden Regens geschützt. Die genannten Eigenschaften erhöhen weiterhin die Rauigkeit und damit den Widerstand gegenüber dem Oberflächenabfluss. Infiltrationshemmende, Oberflächenabfluss fördernde Schlämmkrusten treten hinter die oben genannten Eigenschaften zurück. Die Exposition in nördlicher Richtung verbessert weiterhin die mikroklimatischen Bedingungen auf den Flächen, so dass für das Pflanzenwachstum mehr Feuchtigkeit zur Verfügung steht. Dadurch ist, trotz der teilweise großen Hangneigungen die Anfälligkeit zur Konzentration von Oberflächenabfluss und damit zur Rillenbildung herabgesetzt. Auch die Wirkung des flächenhaften Abtrags kann, obwohl die Intensität nicht kartiert wurde als geringer als auf der Klasse Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung angesehen werden.

6.3 Zwergsträucher 50 bis 80% Bedeckung (ZS80)

Die Klasse ZS80 wurde nur in den beiden nordspanischen EZGen kartiert. Die Klasse hat sehr geringe Anteile an den jeweiligen EZGen, jedoch sind im EZG des *gullies* MDH immerhin 2,17 ha mit dieser Landbedeckungsklasse bestanden (s. Tab 6.3).

Neben der dichten Vegetationsbedeckung sind bei dieser Bedeckungsklasse v. a. Moose und Flechten sowie krautiger Unterwuchs und Gräser als weitere Bedeckung zu nennen. Charakteristisch für diese Landbedeckungsklasse ist darüber hinaus eine hohe biologische Aktivität (viel Wurmlösung). Die Hangneigungen sind immer noch recht hoch und liegen bei 20-30°, die Exposition dieser Flächen ist meist nördlich.

Die Werte für Rillenspülung sind auf einem niedrigeren Niveau als bei den vorangegangenen Bedeckungsklassen. Auf den Flächen dieser Klasse, die ebenso wie die beiden vorangegangenen Klassen primär Hänge an Hängen auftreten, konnte kein flächenhafter Abtrag, *piping* oder Viehtritt kartiert werden (s. Tab. 6.3).

Tab. 6.3: Verschneidung der Klasse „Zwergsträucher 50 bis 80% Bedeckung“ mit der aktuellen Geomorphodynamik.

Zwergsträucher 50 - 80% Bedeckung		
Eigenschaften der Klasse	MDH	BR
Rillenspülung [m/ha]	50,23	57,25
Flächenhafter Abtrag	nein	nein
<i>Piping</i>	nein	nein
Akkumulation	nein	nein
Viehtritt	nein	nein
Anteil am EZG [%]	7	1
Flächengröße im Einzugsgebiet [ha]	2,17	0,19

Kasten 6.3: Aktuelle Geomorphodynamik auf der Klasse „Zwergsträucher 50 bis 80% Bedeckung“.

Die dichte Vegetationsbedeckung mit Zwergsträuchern, einzelnen Horstgräsern und krautigem Unterwuchs und Flechten, die die Bodenoberfläche unmittelbar bedecken lassen *splash*-Erosion nur in sehr geringem Maße zu. Fallender Niederschlag wird bis auf wenige unbedeckte Bereiche von der Vegetation abgefangen und ein Teil kann bspw. dem Boden über Stamm- und Blattabfluss zugeführt werden. Dementsprechend ist die aktuelle Geomorphodynamik auf dieser Landbedeckungsklasse als sehr gering einzuschätzen. Die hier auftretenden Rillen haben ihren Ursprung oft in Bereichen mit anderer Landbedeckung.

6.4 Horstgräser – offen (HGO)

Die Klasse HGO kommt in sieben der elf EZGe vor. Die Flächenanteile am EZG sowie die absoluten Flächengrößen schwanken sehr stark. So ist im EZG des *gullies* LU die Fläche nur 0,12

ha groß, nimmt aber 83% des EZGes ein. Dagegen sind im EZG des *gullies* MDH 2,75 ha mit offenem Horstgrasbewuchs kartiert worden, was 9% des EZGes entspricht (s. Tab. 6.4).

Tab. 6.4: Verschneidung der Klasse „Horstgräser – offen“ mit der aktuellen Geomorphodynamik

Eigenschaften der Klasse	Horstgräser - offen						
	SA4	LU	FR-A	CA	MDH	BR	SA3
Rillenspülung [m/ha]	283,46	1593,44	14,51	0	0	0	244,50
Flächenhafter Abtrag	ja	ja	ja	ja	ja	nein	ja
<i>Piping</i>	nein	ja	nein	nein	nein	ja	nein
Akkumulation	nein	ja	nein	nein	ja	ja	nein
Viehtritt	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein
Anteil am EZG	5	83	5	5	9	12	81
Flächengröße im Einzugsgebiet [ha]	0,43	0,12	0,25	0,17	2,75	1,70	1,15

Offene Horstgrasvegetation wurde in verschiedenen Geländepositionen kartiert. Bei den *gullies* SA4 und LU ist insbesondere der *gully* selbst von dieser Klasse randlich gesäumt, während sonst auch marginale Bereiche an Oberhängen mit HGO bestanden sind (FR-A, CA). In den EZGen von MDH (teils terrassiert), BR (terrassiert) und SA3 sind ältere Brachflächen mit offener Horstgrasvegetation bedeckt (s. Foto 5.24). Auch die weiteren Oberflächeneigenschaften sind durch die unterschiedlichen Geländepositionen bedingt. Die Hangneigungen der am *gully*-Rand befindlichen Flächen (SA4, LU) bewegen sich zwischen 8-15°, die Flächen in marginalen Bereichen (FR-A, CA) liegen bei 5-20° und die mit offenem Horstgrasbewuchs bestandenen alten Brachflächen (MDH, BR, SA3) sind nur schwach bis gar nicht geneigt. Die am *gully*-Rand oder in marginalen Bereichen befindlichen Horstgrasflächen zeigen eine hohe kleinräumige Variabilität der Bedeckung der Bodenoberfläche. Hier wechseln sich mit Schlammkrusten und Steinen bedeckte Bereiche ab, während die alten Brachen meist von krautigem Unterwuchs und Wurmlosung an der Oberfläche charakterisiert sind.

Diese erheblichen Unterschiede drücken sich auch in den Ergebnissen der Verschneidung aus. Die Werte für Rillenspülung gehen weit auseinander, wobei die offene Horstgrasfläche im EZG von LU den höchsten Wert zeigt. Bis auf die ausschließlich terrassierten Flächen im EZG von BR wurde auf allen Flächen dieser Klasse flächenhafter Abtrag kartiert. *Piping* konnte nur auf den terrassierten Flächen von BR (s. Foto 5.5, 5.6) sowie im EZG von LU innerhalb dieser Klasse kartiert werden. Akkumulation wurde in den EZGen von MDH, BR und LU beobachtet, Viehtritt nur im EZG von MDH (s. Tab 6.4).

Kasten 6.4: Aktuelle Geomorphodynamik auf der Klasse „Horstgräser – offen“.

Die Ergebnisse der Verschneidung ergeben auch unter zusätzlicher Betrachtung der weiteren Oberflächeneigenschaften kein einheitliches Bild. Besonders die alten Brachflächen, auf denen sich Horstgräser angesiedelt haben, sind nicht mit den an anderen Standort kartierten Horstgrasflächen vergleichbar, da dort nur eine geringe Hangneigung aufgrund teilweiser Terrassierung und ein krautiger Unterwuchs aus Gräsern vorhanden ist. Flächenhafter Abtrag findet dort ebenso wie Rillenspülung nur eingeschränkt statt. Ausnahme ist die ältere Brachfläche bei SA3, wo keine Terrassierung der Fläche stattfand.

Am *gully*-Rand sowie an marginalen, aber exponierten Standorten ist eine größere Hangneigung vorhanden und eine deutlich erhöhte aktuelle Geomorphodynamik wirksam. Größere Hangneigungen und ein Mosaik aus steinbedeckten und völlig vegetationslosen Bereichen zeigen eine hohe geomorphodynamische Aktivität, die v. a. durch flächenhaften Abtrag bestimmt wird, wie verspülte Steine und teilweise mehr als 30 cm hohe Wuchshügel zeigen (s. Foto 5.26).

6.5 Horstgräser – dicht (HGD)

Die Klasse HGD wurde in fünf der elf EZGe kartiert. Bis auf das EZG von MDH erreichen die Flächen nur Größen von < 1 ha und haben insgesamt geringe Flächenanteile am jeweiligen EZG (s. Tab 6.5).

Dichter Horstgrasbewuchs findet sich v. a. an randlichen Bereichen wie *gully*-Kanten, Weg- oder Terrassenrändern oder, wie im Fall von MDH, großflächig an Hangfußbereichen. Die wenigen freien Bereiche dieser Bedeckungsklasse sind durch Flechtenkrusten und krautigen Unterwuchs (MDH, BR, SA1) sowie eher steinig, kiesige Bedeckungen (FR-A, CA) gekennzeichnet. Die gemessenen Hangneigungen liegen in allen EZGen unter 15°.

Die Werte für Rillenspülung bewegen sich auf ähnlichem Niveau wie die der mittleren Bedeckungsklasse der Zwergsträucher (s. Tab. 6.2), flächenhafter Abtrag wurde nur im EZG von CA auf der dichten Horstgrasfläche beobachtet, Akkumulation dagegen an vier der fünf Standorte (s. Tab. 6.5).

Tab. 6.5: Verschneidung der Klasse „Horstgräser – dicht“ mit der aktuellen Geomorphodynamik.

	Horsträser dicht				
	MDH	BR	SA1	FR-A	CA
Rillenspülung [m/ha]	69,04	114,351	135,85	72,2	0
Flächenhafter Abtrag	ja	nein	nein	ja	ja
<i>Piping</i>	ja	ja	nein	nein	nein
Akkumulation	ja	ja	ja	nein	ja
Viehtritt	ja	nein	nein	nein	nein
Anteil am EZG [%]	22	2	4	3	17
Flächengröße im Einzugsgebiet [ha]	6,76	0,31	0,94	0,17	0,57

Kasten 6.5: Aktuelle Geomorphodynamik auf der Klasse „Horstgräser – dicht“.

Trotz der teilweise recht hohen Werte für Rillenspülung ist die aktuelle Geomorphodynamik auf den dicht mit Horstgräsern bewachsenen Flächen v. a. im Vergleich zu offener Vegetation als gering einzuschätzen. Oft setzt Rillenspülung auf einer anderen Bedeckungsklasse ein und durchschneidet die dichte Horstgrasvegetation (MDH, BR). Bis auf die Flächen im EZG von CA spielt auch flächenhafter Abtrag auf dieser Klasse keine wesentliche Rolle, da die dichte Bedeckung mit Horsten Infiltration begünstigt und die eng stehenden Horste generell wenig Raum für oberflächlich abfließendes Wasser lassen, so dass es auch verstärkt zu Sedimentation von erodiertem Material kommt. Stehen die Horste jedoch nicht „dicht an dicht“, kann es dadurch zu einer Kanalisierung von oberflächlich abfließendem Wasser kommen, was die Erosionskraft verstärkt.

6.6 Ackerland – Trockenfeldbau (AT)/Ackerland – Dauerkultur (AD)

Die Klassen mit aktueller landwirtschaftlicher Nutzung (AT, AD) kommen nur in drei der elf untersuchten EZGe vor, wo sie jedoch erhebliche Anteile an den jeweiligen EZGen innehaben. Wegen vergleichbarer Oberflächeneigenschaften wurden die Ergebnisse für die Dauerkultur im EZG von SA1 hier hinzugefügt (s. Tab. 6.6).

Tab. 6.6: Verschneidung der Klasse „Ackerland – Trockenfeldbau“ bzw. „Ackerland – Dauerkultur“ mit der aktuellen Geomorphodynamik.

Eigenschaften der Klasse	Ackerland - Trockenfeldbau		Ackerland - Dauerkultur
	BR	SA4	SA1
Rillenspülung [m/ha]	11,61	2,86	38,72
Flächenhafter Abtrag	nein	ja	nein
<i>Piping</i>	ja	ja	ja
Akkumulation	ja	ja	ja
Viehtritt	nein	ja	nein
Anteil am EZG [%]	35	78	84
Flächengröße im Einzugsgebiet [ha]	4,67	6,18	21,35

Zentrale Eigenschaft dieser Flächen ist der jahreszeitlich wechselnde bzw. geringe Bedeckungsgrad und die regelmäßige Bearbeitung mit dem Pflug, der Egge bzw. der Walze. Die Bodenoberfläche ist während Starkregenereignissen in der Regel ungeschützt, so dass der *splash*-Effekt uneingeschränkt wirken kann. Die Intensität der Materialverlagerungen hängt dann u.a. von der Topographie (Hangneigung, Hanglänge) und den Substrateigenschaften ab.

Wichtigster Unterschied innerhalb dieser Landbedeckungsklassen ist die Terrassierung, die nur im EZG von BR komplett durchgeführt wurde. In den EZGen von SA1 und SA4 ist die Fläche nur teilweise in der Haupttiefenlinie bzw. in steileren Reliefpositionen (SA1) terrassiert. Die Flächen dieser Klasse sind jeweils dem *gully* direkt benachbart. Wegen der Bearbeitung der Flächen unmittelbar vor der Kartierung sind die meisten Erscheinungen aktueller

Geomorphodynamik zerstört. Auch die Werte für Rillenspülung auf dieser Landbedeckungsklasse sind durchweg gering. Dagegen wurde auf dieser Klasse verstärkt *piping* und Sedimentation von Material kartiert (s. Tab. 6.6).

Kasten 6.6: Aktuelle Geomorphodynamik auf den Klassen „Ackerland –Trockenfeldbau“ und „Ackerland – Dauerkultur“.

Die aktuelle Geomorphodynamik ist aufgrund der zeitlichen Variabilität des Bedeckungsgrades und dem Verwischen von Prozessspuren durch Bearbeitung schwer zu fassen. Wie schon im Kap. 5 angedeutet, ist hier im Rahmen der geomorphodynamischen Kartierung der Zustand der Terrassenkanten eine wichtige Information zum Erosionsgeschehen. Die Terrassenkanten in diesen genutzten Bereichen sind oft von *piping*, Rillenspülung und Akkumulation gekennzeichnet und zeigen, dass hier mit einer höheren Intensität der aktuellen Geomorphodynamik zu rechnen ist, als mit dieser Kartierung erfasst werden konnten.

6.7 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Betrachtet man die Ergebnisse der Verschneidung, fällt bei den Zwergsträuchern ein Trend bezüglich des Verhältnisses Landbedeckung/aktuelle Geomorphodynamik auf (s. Tab. 6.7, Abb. 6.1).

Tab. 6.7: Rillenspülung nach Bedeckungsgrad der Zwergstrauchklassen sortiert.

Landbedeckungsklasse	Rillenspülung in m/ha	Faktor
Zwergsträucher bis unter 20% Bedeckung	223	4,1
Zwergsträucher 20 bis unter 50% Bedeckung	93,7	1,7
Zwergsträucher 50 bis 80% Bedeckung	53,7	1

(In diese Berechnung gingen nur die Zwergstrauchklassen ein, auf denen im Einzugsgebiet Rillenspülung kartiert wurde)

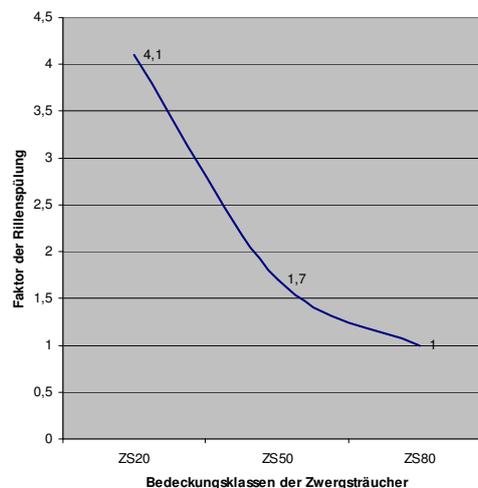


Abb. 6.1: Zusammenhang zwischen kartierter Rillenspülung und den Bedeckungsklassen der Zwergsträucher.

Wie aus Tab. 6.7 und Abb. 6.1 ersichtlich, steigt die Rillendichte mit sinkendem Bedeckungsgrad stark an, so dass auf der mittleren Bedeckungsklasse etwa doppelt so viele Rillen/ha kartiert wurden wie auf der höchsten Bedeckungsklasse (Faktor 1,7). Die niedrigste Bedeckungsklasse zeigt sogar eine mehr als vier mal so hohe Rillendichte wie die Klasse höchster Bedeckung (Faktor 4,1). Einen nicht-linearen Anstieg der aktuellen Prozessdynamik mit sinkendem Bedeckungsgrad beschreiben ebenfalls TRIMBLE (1990: S. 63) sowie FRANCIS & THORNES (1990: S. 381), die diesen Zusammenhang bei Niederschlagsereignissen hoher Intensität erkannten. Auch ELWELL & STOCKING (1976: S. 65f.) konnten bei ihren Untersuchungen in Simbabwe einen solchen Zusammenhang feststellen.

Ein solch klarer Trend wie bei den Zwergsträuchern ist bei den Horstgräsern nicht zu erkennen. Die Werte für Rillenspülung zeigen auf dieser Klasse zwar verhältnismäßig hohe, aber sehr variable Werte. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Bedeckungsgraden ist auch betreffend flächenhafter Abtragung oder *piping* nicht zu erkennen. Auch bei den beiden Klassen der Horstgräser ist die Topographie, aber vor allem die Geländedeposition sowie die Nutzungsgeschichte neben der Landbedeckung für die Prozessdynamik entscheidend. Die Relevanz der „*geomorphic history*“ eines Landschaftsausschnitts für aktuelle Prozesse in Bezug zu Vegetationsbedeckung spricht auch TRIMBLE (1990: S. 63) an. Da sich bspw. in der Klasse HGO größere, ehemalige landwirtschaftliche Nutzflächen, aber auch räumlich stark begrenzte Flächen in marginalen Geländedepositionen befinden, konnte mit der angewandten Methode kein Trend bezüglich der aktuellen Geomorphodynamik festgestellt werden.

Bei den landwirtschaftlich genutzten Flächen ist der anthropogene Eingriff, also der wechselnde Bedeckungsgrad über das Jahr, die Unbedecktheit der Bodenoberfläche während langer Zeiträume und die regelmäßige Bearbeitung prägend. Dadurch ist jedoch eine Bewertung dieser Klassen schwierig (s. Kap. 7.1, 7.2), jedoch zeigt sich auch hier der Einfluss der Topographie (Kap. 5.12), dem durch teilweise (SA1, SA4) oder komplette Terrassierung (BR) entgegengearbeitet wird.

Deutlich wird, dass eine Einschätzung von Flächen in Bezug zur Prozessdynamik alleine aufgrund der Landbedeckung (insbesondere Vegetationsbedeckung) basierend schwierig ist. TRIMBLE (1990: S. 63) bemerkt, dass die Zusammenhänge, die das Erosionsgeschehen steuern, weitaus komplizierter sind, als es durch Unterschiede in der Vegetationsbedeckung auszudrücken ist. Somit ist es nur eingeschränkt möglich, von der Landbedeckung auf die aktuellen Prozesse zu schließen.

7 Methodenbewertung

Wie schon an verschiedenen Stellen in Kap. 5 und Kap. 6 erwähnt, zeigen die Methoden der Kartierung und der Verschneidung Grenzen auf, die im Folgenden kurz dargestellt werden sollen.

7.1 Kartierungen

7.1.1 Landbedeckung

Die Kartierung der Landbedeckung (s. Kap. 4.2.2) nach den gewählten Klassen vermittelt einen guten Eindruck der Flächenanteile und räumlichen Verteilung der aktuellen Bedeckung/Nutzung der Landoberfläche in *gully*-EZGen durch:

- den dominierenden Vegetationstyp mit seinem Bedeckungsgrad bzw.
- die aktuelle Nutzungsform landwirtschaftlich genutzter Flächen.

Jedoch können dadurch Flächen wie Brachen, die sich in einem Übergangsstadium von anthropogener Nutzung zu mehr oder weniger dichter, natürlicher Vegetationsbedeckung befinden, nur eingeschränkt eingeschätzt werden, da dort der ehemalige anthropogene Eingriff noch lange nach Aufgabe der Nutzung bspw. durch Veränderung der Topographie das Prozessgeschehen beeinflusst. Dies betrifft insbesondere die Klasse HGO (s. Kap. 6.4) oder wie am Standort Freila die Klassen der Zwergsträucher (s. Kap. 5.3).

7.1.2 Aktuelle Geomorphodynamik und Oberflächenformen

Die mit Vegetation bestandenen Bereiche in den EZGen sind meist in marginalen Geländepositionen zu finden und sind aktuell vom Menschen im engeren Sinne unbeeinflusst. So bleiben Prozessspuren lange erhalten, die kartiert und interpretiert werden können.

Dagegen stößt die Kartierung der aktuellen Geomorphodynamik bei aktuell landwirtschaftlich genutzten Flächen an ihre Grenzen. Da durch die regelmäßige Bearbeitung, die dem Speichern von Bodenfeuchte dient (s. Kap. 2.4.2), die Spuren aktueller Prozesse hier in regelmäßigen Abständen beseitigt werden, können diese Flächen mit dieser Methode nur indirekt in ihrer Rolle für das Abflussgeschehen in den EZGen (s. Kap. 5) oder generell im Vergleich zu anderen Klassen (s. Kap. 6) eingeschätzt werden. Sofern die Flächen zumindest teilweise terrassiert sind, zeigen die Terrassenkanten meist deutliche Spuren aktueller Geomorphodynamik oder anthropogener Instandhaltungsmaßnahmen. Hilfreich für die Einschätzung der aktuellen Prozessdynamik ist die Aufnahme der Eigenschaften der Bodenoberflächen in diesen Bereichen sowie die Kartierung der Oberflächenformen.

Die Kartierung ist also für eine variable und dynamische Landbedeckung wie aktuell landwirtschaftlich genutzte Flächen zu statisch. Eine dynamische Kartierung, wie sie RIES (1995) in Nepal durchgeführt hat, wäre demnach vorzuziehen, jedoch ist diese Methode sehr zeitaufwändig.

Da die Kartierung für die größeren EZGe (MDH, BR, SA1, SA4) konzipiert wurde, wurden Prozesse und Formen in deutlich kleineren EZGen (NE1, LU) genauer kartiert und dadurch möglicherweise überschätzt.

Während die Prozesse der Rillenspülung und des Viehtritts durch die Anzahl der kartierten Signaturen in einem bestimmten Bereich in ihrer Intensität abgeschätzt werden können, sind Prozesse wie flächenhafter Abtrag und Sedimentation schwerer zu fassen, da der Verlust bzw. die Lieferung von Bodenmaterial durch die Kartierung nicht quantitativ erfasst werden konnte.

7.2 Verschneidung der Layer in ArcMap

Auch die Verschneidung von Layern in ArcMap hat Begrenzungen in der Anwendbarkeit. Besonders bei den beiden Klassen der Horstgräser fällt die oft sehr geringe Größe der einzelnen Flächen in den jeweiligen EZGen ins Gewicht, was aus zweierlei Hinsicht problematisch ist:

- (1) Durch die geringe Einzelflächengröße sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass es zur Einschneidung von Rillen kommt.
- (2) Falls auf kleinen Flächen Rillen vorhanden sind, werden diese durch das Hochrechnen auf einen Meter/Hektar-Wert überschätzt. Diese Tatsache ist eng verknüpft mit der Problematik der zu geringen Datenmenge und dass die Rillenspülung in dieser Kartierung den einzigen quantifizierbaren Prozess der aktuellen Geomorphodynamik darstellt.

Problematisch ist auch das Vorkommen einer Landbedeckung in unterschiedlichen Geländedepositionen: Die Klasse HGO kommt bspw. an Oberhängen, aber auch an *gully*-Rändern und ehemaligen Terrassen vor, so dass die Rahmenbedingungen für aktuelle geomorphologische Prozesse sehr variabel sind.

7.3 Fazit

Trotz der Begrenzungen bei der Kartierung der einzelnen Themen gibt die kombinierte Kartierung von Landbedeckung und aktueller Geomorphodynamik/Oberflächenformen gute Erklärungsansätze für die räumlichen Zusammenhänge beim Erosionsgeschehen in *gully*-EZGen.

So können einerseits Quellen und Transportwege, aber auch Senken für Oberflächenabfluss und Sediment identifiziert werden.

Eine Verbindung dieser rein deskriptiven, qualitativen Methode der Kartierung mit experimentell erfassten, quantitativen Daten aus Niederschlagssimulationen und Infiltrationsversuchen könnte helfen, diese Daten in einen größeren räumlichen Zusammenhang zu bringen.

Die Methode der Verschneidung erscheint nur für eindeutig quantifizierbare Prozesse oder Formen sinnvoll, weil dadurch im Gegensatz zu nur qualitativ erfassbaren Prozessen die Intensität des Prozesses auf einer Landbedeckung dargestellt werden kann.

8 Schlußbetrachtung und Ausblick

Diese Diplomarbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojektes MoGul, das sich mit Typen, Formenentwicklung, sowie Art und Bedeutung der an *gully*-Erosion beteiligten Prozesse beschäftigt. Wichtig für das Verständnis des Verhaltens der *gullies* sind Kenntnisse über Eigenschaften und morphodynamische Prozesse in den EZGen dieser Erosionsform.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden während zweier Geländekampagnen 2006 elf EZGe von *gullies* eingemessen und kartiert. Die Kartierung umfasste eine Aufnahme der Landbedeckung (Vegetation/Landnutzung), eine Aufnahme der aktuellen Geomorphodynamik und der Oberflächenformen.

Im Folgenden sollen nun die in Kap. 1.3 genannten Fragestellungen der Arbeit zusammenfassend beantwortet werden:

Wie groß sind die Einzugsgebiete der *gullies*?

Die EZGs-Größen der untersuchten *gullies* variieren sehr stark. Das größte EZG MDH ist etwa um den Faktor 200 größer als das kleinste EZG LU. Insgesamt wurden in dieser Arbeit elf EZGe kartiert, was einer Gesamtfläche von etwa 86 ha entspricht. Die vier größten EZGe (MDH, SA1, BR, SA4) nehmen bereits 86% der kartierten Gesamtfläche ein, was die hohe Variation der EZGs-Größen verdeutlicht.

Welche Eigenschaften weisen die Einzugsgebiete in Bezug zu Landbedeckung (Vegetation/Landnutzung) und aktuellen geomorphologischen Prozessen auf?

Die Eigenschaften der EZGe in Bezug auf Landbedeckung und aktuelle geomorphologische Prozesse sind sehr variabel. Generell sind weite Teile der EZGe unabhängig von ihrer Größe nur geringbedeckt und zeigen einen deutlichen Schwerpunkt bei einer oder zwei Bedeckungsklassen. Diese Klassen erreichen nur geringe Bedeckungsgrade (HGO, ZS20) oder die Landbedeckung ist über das Jahr hinweg variabel (AT) oder nicht vorhanden (AD). Ein wichtiger Faktor für die Verteilung der Landbedeckungsklassen ist die Topographie, die auch ein zentraler Faktor für die räumliche Verteilung aktueller geomorphologischer Prozesse darstellt. Stark reliefierte EZGe oder Teile davon wie v. a. west- und südexponierte Hänge zeigen dadurch stärkere Prozessdynamik als flachere Bereiche oder flachere EZGe. Generell steigt mit der EZG-Größe auch die Variabilität der Landbedeckungsklassen in den EZGen.

Kann die unterschiedliche Flächenentwicklung der einzelnen *gullies* mit den Eigenschaften der Einzugsgebiete in Verbindung gebracht werden?

Anhand der Kartierungen konnten in den meisten EZGen Eigenschaften identifiziert werden, die die *gully*-Entwicklung fördern bzw. vermindern. So ist das Vorhandensein von (zumindest zeitweise) unbedeckten Bodenoberflächen in der näheren Umgebung der *headcuts* deren Entwicklung sehr förderlich, was auch durch experimentell erfasste Daten von ISELOH (2007) untermauert werden konnte. An den aktivsten *gullies* sind Flächen geringer oder keiner Bedeckung in direkter Umgebung des *headcuts* vorhanden, was die Produktion und den Transport von Oberflächenabfluss zum *headcut* beschleunigt.

Deutlich wurde, dass die Größe der EZGe und damit die Diversität der Landbedeckungsklassen ein wichtiger Faktor für die *gully*-Entwicklung sein kann. Je größer das EZG, desto größer auch die Entfernung einzelner Bereiche zur Haupttiefenlinie bzw. dem *headcut*. In diesem Zusammenhang wurde die Wichtigkeit der *connectivity* (KIRKBY et al. 2002: S. 1472) in *gully*-EZGen deutlich. In den meisten EZGen konnten Strukturen identifiziert werden, die die Anbindung einzelner Teile des EZGes an die Haupttiefenlinie bzw. den *headcut* verbessern (Straßen, Wege, Rillen, geringe Vegetationsbedeckung, starke Verkrustung, große Hanglängen). Im Gegensatz dazu konnten ebenfalls Strukturen identifiziert werden, die die *connectivity* unterbrechen können (dichte Vegetationsbedeckung, Hangverflachungen, Sedimentationsbereiche, anthropogene Terrassierung). Es konnte gezeigt werden, dass bei *gullies*, die eine stärkere Flächenentwicklung erfahren haben als andere, die *connectivity* im EZG höher ist, da dort Strukturen, die eine Anbindung an den *headcut* verhindern, nicht vorhanden sind oder durchbrochen wurden.

Läßt sich ein Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik feststellen?

Der Einfluss der Landbedeckung auf die aktuelle Geomorphodynamik wurde an mehreren Stellen in dieser Arbeit aufgezeigt. Wie schon erwähnt sind geringe Bedeckungsgrade der Vegetation oder landwirtschaftlich genutzter Bereiche der aktuellen Prozessdynamik sehr förderlich. In Kap. 6 wurde anhand der drei gewählten Bedeckungsgrade der Zwergsträucher der auch in der Literatur (ELWELL & STOCKING 1976: S. 65f.; FRANCIS & THORNES 1990: S. 381) oft genannte exponentielle Zusammenhang zwischen Vegetationsbedeckung und Prozessen der Bodenerosion deutlich. Auch hier zeigte sich der starke Einfluss der Topographie, da Flächen verstärkter aktueller Geomorphodynamik oft an süd- bis west-exponierten Hängen liegen und Flächen geringerer Dynamik meist an nördlich exponierten Hängen zu finden sind.

Zusammenfassend lassen sich vier Fragen formulieren, die bei der Einschätzung von *gully*-EZGen eine zentrale Rolle spielen:

- Wie groß sind die Anteile gering oder variabel bedeckter Flächen am EZG?
- Wo befinden sich diese Flächen im EZG?
- Wie sind diese Flächen an die Haupttieflinie angeschlossen und wie weit entfernt davon liegen sie?
- Gibt es Hindernisse (Topographie, dichte Vegetation) oder Begünstigungen (Straßen, große zusammenhängende, unbedeckte Flächen, Topographie) für die Produktion und den Transport von Oberflächenabfluss im EZG?

Wegen des starken Einflusses der Topographie sollte auf diesen Faktor in Zukunft mehr Wert gelegt werden. Die sich verbessernde Datenlage hinsichtlich immer großmaßstäbigerer Luftbilder und genauerer Geländemodelle erleichtert diesen Umstand erheblich.

Eine stärkere Einbindung experimentell und punktuell erfasster Daten zu Oberflächenabflussbildung und Sedimentaustrag würde die Einschätzung des Erosionspotentials einzelner Flächen stark verbessern. Durch die Verbindung mit der Kartierung können so erfasste Daten besser in einen räumlichen Bezug gebracht werden.

9 Quellenverzeichnis

- ARNÁEZ, J., GARCÍA RUIZ, J. M. & A. GÓMEZ VILLAR [Hrsg.] (1994): Geomorfología en España: III Reunión de geomorfología, Logroño, 14 a 16 de septiembre de 1994. Madrid: Sociedad Española de Geomorfología.
- AUERSWALD, K. (1998): Bodenerosion durch Wasser. – In: RICHTER, G. [Hrsg.]: Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Seite 33-42.
- BARRÓN, G., ECHEVERRÍA, M. T., IBARRA, P., MARCO, P. & F. PÉREZ (1994): Algunas consecuencias geomorfológicas del uso del suelo agrícola en las últimas décadas. La actividad del piping en el bajo valle del Huerva. – In: ARNÁEZ, J., GARCÍA RUIZ, J. M. & A. GÓMEZ VILLAR [Hrsg.]: Geomorfología en España: III Reunión de geomorfología, Logroño 14 a 16 de septiembre de 1994. Seite 255-266.
- BOCHET, E., RUBIO, J. L. & J. POESEN (1999): Modified topsoil islands within patchy Mediterranean vegetation in SE Spain. *Catena* **38** (1): 23-44.
- BRACKEN, L. J. & J. CROKE (2007): The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. *Hydrological Processes* **21** (13): 1749-1763.
- BRYAN, R. & A. YAIR [Hrsg.] (1982): Badland geomorphology and piping. Norwich: Geo Books. 408 Seiten.
- BRYAN, R.B. & J. A. A. JONES (1997): The significance of soil piping processes: inventory and prospect. *Geomorphology* **20** (3-4): 209-218.
- BULL, L. J. & M. J. KIRKBY [Hrsg.] (2002): Dryland rivers: Hydrology and geomorphology of semi-arid channels. Chichester: Wiley. 388 Seiten.
- BUSCH, S. (2004): Oberflächenabfluss und Bodenabtrag im semiariden Spanien – Niederschlagssimulationen und Infiltrationsmessungen zur Erfassung der Bodenerosionsgefährdung. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Trier.
- CAMMERAAT, L. H. & A. C. IMESON (1998): Runoff and erosion. – In: MAIROTA, P., THORNES, J. B. & N. GEESON [Hrsg.]: Atlas of mediterranean environments in Europe. The desertification context. Seite 57-59.
- CAMMERAAT, E. L. H. (2004): Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **104** (2): 317-332.
- CANTÓN, Y., DEL BARRIO, G., SOLÉ-BENET, A. & R. LÁZARO (2004): Topographic controls on the spatial distribution of ground cover in the Tabernas badlands of SE Spain. *Catena* **55** (3): 341-365.
- CERDÀ, A. (1997): The effect of patchy distribution of *Stipa tenacissima* L. on runoff and erosion. *Journal of Arid Environments* **36** (1): 37-51.
- CHEbro (Confederación Hidrográfica del Ebro): Datos climatológicos. Red meteorológica en la Cuenca del Ebro y datos medios de precipitación y temperatura. URL: <http://oph.chebro.es/ContenidoClimatologicoD.htm>. Zuletzt geprüft am 02.11.2007.
- CHIRINO, E., BONET, A., BELLOT, J. & J. R. SÁNCHEZ (2006): Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain. *Catena* **65** (1): 19-29.
- Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (2005): Lorca en cifras. Agricultura y ganadería: Distribución general de la tierra. URL: http://www.carm.es/econet/sicrem/PU_lorcaCifras/sec19.html. Zuletzt geprüft am 02.11.2007.
- Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (2006): Anuario estadístico de la región de Murcia 2006. Tomo I: Datos regionales. URL: http://www.carm.es/econet/anuario/a06/anuario_tomoI_1.html. Zuletzt geprüft am 02.11.2007.

- Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (2004): Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras Año 2004. URL: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/opencms/portal/DGPAgraria/Estadisticas/estadisticasagrarias?entrada=servicios&servicio=201>. Zuletzt geprüft am 02.11.2007.
- Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (2005): Agricultura: Estaciones agroclimáticas de la red de alerta e información fitosanitaria, datos climáticos. URL: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/DGPAgraria/clima/info.estacion.do?id=50>. Zuletzt geprüft am 02.11.2007.
- DE SANTISTEBAN, L. M., CASALÍ, J., LÓPEZ, J. J., GIRÁLDEZ, J. V., POESEN, J. & J. NACHTERGAELE (2005): Exploring the role of topography in small channel erosion. *Earth Surface Processes and Landforms* **30** (5): 591-599.
- DE SANTISTEBAN, L. M., CASALÍ, J. & J. J. LÓPEZ (2006): Assessing soil erosion rates in cultivated areas of Navarre (Spain). *Earth Surface Processes and Landforms* **31** (4): 487-506.
- DÍAZ-HERNÁNDEZ, J. L. & R. JULIÁ (2006): Geochronological position of badlands and geomorphological patterns in the Guadix-Baza basin (SE Spain). *Quaternary Research* **65** (3): 467-477.
- ELWELL, H. A. & M. A. STOCKING (1976): Vegetal cover to estimate soil erosion hazard in Rhodesia. *Geoderma* **15** (1): 61-70.
- EMDE, K. & A. SZÖCS (2000): Geomorphologisch-bodenkundliches Laborpraktikum. Eine praxisorientierte Anleitung zur physikalischen und chemischen Bodenuntersuchung. 7. Auflage. Unveröffentlichtes Skript zum Kurs „Geoökologische Arbeitsmethoden II“, Universität Mainz.
- FRANCIS, C. F. & J. B. THORNES (1990): Runoff hydrographs from three mediterranean vegetation cover types. – In: THORNES, J. B. [Hrsg.]: *Vegetation and Erosion. Processes and Environments*. Seite 363-384.
- GUTIÉRREZ, M., SANCHO, C., BENITO, G., SIRVENT, J. & G. DESIR (1997): Quantitative study of piping processes in badland areas of the Ebro Basin, NE Spain. *Geomorphology* **20** (3-4): 237-253.
- HAMMAD, A. H. A., BØRRESEN, T. & L. E. HAUGEN (2006): Effects of rain characteristics and terracing on runoff and erosion under the Mediterranean. *Soil and Tillage Research* **87** (1): 39-47.
- HARVEY, A. (1982): The role of piping in the development of badlands and gully systems in south-east Spain. – In: BRYAN, R. & A. YAIR [Hrsg.]: *Badland geomorphology and piping*. Seite 317-335.
- HIDALGO, J. C. G., PELLICER, F., SIERRALTA, L. & M. V. LOPEZ (1990): Spatial distribution patterns of morphogenetic processes in a semi-arid region. – In: THORNES, J. B. [Hrsg.]: *Vegetation and Erosion. Processes and Environments*. Seite 399-417.
- IAEST (Instituto Aragonés de Estadística) (2007): Medio Ambiente: Información por temas: Usos del suelo: Distribución general de tierras, por provincias. Aragón. Años 1988-2005. URL: http://portal.aragob.es/pls/portal30/docs/FOLDER/IAEST/IAEST_0000/IAEST_04/IAEST_0400/IAEST_0412/IAEST_041201/04120101.XLS. Zuletzt geändert am 16.09. 2007. Zuletzt geprüft am 02.11.2007.
- IGME (Instituto Geológico y Minero de España) [Hrsg.] (1970): Mapa geológico de España 1:200.000, Blatt 78: Baza. 2. Auflage. Madrid.
- ISERLOH, T. (2007): Niederschlagssimulationen in Aragón und Andalusien – Untersuchungen zur Oberflächenabflussgenerierung und zum Bodenabtrag in Gullyeinzugsgebieten. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Trier.
- KIRKBY, M. J., ATKINSON, K. & J. LOCKWOOD (1990): Aspect, vegetation cover and erosion on semi-arid hillslopes. – In: THORNES, J. B. [Hrsg.]: *Vegetation and Erosion. Processes and Environments*. Seite 25-39.

- KIRKBY, M., BRACKEN, L. & S. REANEY (2002): The influence of land use, soils and topography on the delivery of hillslope runoff to channels in SE Spain. *Earth Surface Processes and Landforms* **27** (13): 1459-1473.
- KIRKBY, M. J., BRACKEN, L. J. & J. SHANNON (2005): The influence of rainfall distribution and morphological factors on runoff delivery from dryland catchments in SE Spain. *Catena* **62** (2-3): 136-156.
- KOSMAS, C., DANALATOS, N., CAMMERAAT, L. H., CHABART, M., DIAMANTOPOULOS, J., FARAND, R., GUTIERREZ, L., JACOB, A., MARQUES, H., MARTINEZ-FERNANDEZ, J., MIZARA, A., MOUSTAKAS, N., NICOLAU, J. M., OLIVEROS, C., PINNA, G., PUDDU, R., PUIGDEFABREGAS, J., ROXO, M., SIMAO, A., STAMOU, G., TOMASI, N., USAI, D. & A. VACCA (1997): The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Catena* **29** (1): 45-59.
- KRETZSCHMAR, R. (1996): Kulturrechnisch-bodenkundliches Praktikum. Ausgewählte Labor- und Feldmethoden. Eine Anleitung zum selbständigen Arbeiten an Böden und Gewässern in zwei Bänden. Band 1: Physikalische Verfahren der Bodenuntersuchung für kulturtechnische und meliorative Zwecke. 9. Auflage. Kiel: Akademisches Institut für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie der Christian-Albrechts-Universität. 503 Seiten.
- LAUTENSACH, H. (1964): Iberische Halbinsel. München: Keyser. 700 Seiten.
- Leica Geosystems (2004): Leica Geosystems GS20. Field Guide. Version 1.1.
- LESER, H. & G. STÄBLEIN (1978): Legende der Geomorphologischen Karte 1:25.000 (GMK 25) – 3. Fassung im GMK-Schwerpunktprogramm. – In: STÄBLEIN, G. [Hrsg.]: Geomorphologische Detailaufnahme. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm I. Seite 79-90.
- MAIROTA, P., THORNES, J. B. & N. GEESON [Hrsg.] (1998): Atlas of mediterranean environments in Europe. The desertification context. Chichester u.a.: Wiley. 205 Seiten.
- MARZOLFF, I. (1999): Großmaßstäbige Fernerkundung mit einem unbemannten Heißluftzeppelin für GIS-gestütztes Monitoring von Vegetationsentwicklung und Geomorphodynamik in Aragón (Spanien). *Freiburger Geographische Hefte* **57**. 227 Seiten.
- MARZOLFF, I., RIES, J.B., DE LA RIVA, J. & M. SEEGER [Hrsg.] (2003): Landnutzungswandel und Landdegradation in Spanien. Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie D – Physische Geographie, Sonderband. 292 Seiten.
- MoGul (2007a): MoGul Projektinformation. URL: <http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/ma/mogul/index.html>. Zuletzt geändert am 19.07.2007. Zuletzt geprüft am 02.11.2007.
- MoGul (2007b): MoGul Untersuchungsmethoden. URL: http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/ma/mogul/methoden_d.html. Zuletzt geändert am 19.07.2007. Zuletzt geprüft am 02.11.2007.
- MORGAN, R. P. C. (1999): Bodenerosion und Bodenerhaltung. Stuttgart: Enke im Thieme-Verlag. 236 Seiten.
- MÜLLER-HOHENSTEIN, K. (1981): Die Landschaftsgürtel der Erde. 2. Auflage. Stuttgart: Teubner. 240 Seiten.
- OOSTWOUW WIJDENES, D. J., POESEN, J., VANDEKERCKHOVE, L. & M. GHESQUIERE (2000): Spatial distribution of gully head activity and sediment supply along an ephemeral channel in a Mediterranean environment. *Catena* **39** (3): 147-167.
- PATTON, P. C. & S. A. SCHUMM (1975): Gully erosion, northwestern Colorado; a threshold phenomenon. *Geology* **3** (2): 88-89.
- PECHO, M. (2005): Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in Burkina Faso – Niederschlagssimulationen und Infiltrationsmessungen zur Erforschung der standörtlichen Variabilität. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Frankfurt am Main.
- POESEN, J., VANDEKERCKHOVE, L., NACHTERGAELE, J., OOSTWOUW WIJDENES, D., VERSTRAETEN, G. & B. VAN WESEMAEL (2002): Gully erosion in dryland environments. – In: BULL, L. J. & M. J.

- KIRKBY [Hrsg.]: Dryland rivers: Hydrology and geomorphology of semi-arid channels. Seite 229-262.
- POESEN, J., NACHTERGAELE, J., VERSTRAETEN, G. & C. VALENTIN (2003): Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena* **50** (2-4): 91-133.
- POTT, R. (2005): Allgemeine Geobotanik. Biogeosysteme und Biodiversität. Berlin u.a.: Springer. 652 Seiten.
- PUIGDEFABREGAS, J., SOLE, A., GUTÉRREZ, L., DEL BARRIO, G. & M. BOER (1999): Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain. *Earth-Science Reviews* **48** (1-2): 39-70.
- REMY, J. C. & A. MARIN-LAFLÈCHE (1974): L'analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique. *Annales Agronomique* **25** (4): 607-632.
- RICHTER, G. [Hrsg.] (1998): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft. 264 Seiten.
- RIES, J. B. (1995): Soil Erosion in the High Mountain Region of the Eastern Nepalese Himalayas - A Case Study in Bamti/Bhandar/Surma. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement* **99**: 41-52.
- RIES, J. B. [Hrsg.] (1999): EPRODESERT – Bodenwasserhaushalt und aktuelle Geomorphodynamik auf Brachflächen in Aragón/Spanien. *APT-Berichte* **10**. 144 Seiten.
- RIES, J. B. (2000): Geomorphodynamik und Landdegradation auf Brachflächen zwischen Ebrobecken und Pyrenäen. Unveröffentlichte Habilitationsschrift, Universität Frankfurt am Main.
- RIES, J. B. (2003): Landnutzungswandel und Landdegradation in Spanien – eine Einführung. – In: MARZOLFF, I., RIES, J.B., DE LA RIVA, J. & M. SEEGER [Hrsg.]: Landnutzungswandel und Landdegradation in Spanien. Seite. 11-29.
- RIES, J. B. & I. MARZOLFF (2003): Monitoring of gully erosion in the Central Ebro Basin by large-scale aerial photography taken from a remotely controlled blimp. *Catena* **50** (2-4): 309-328.
- ROMERO DÍAZ, A., MARÍN SANLEANDRO, P., SÁNCHEZ SORIANO, A., BELMONTE SERRATO, F. & H. FAULKNER (2007): The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. *Catena* **69** (3): 282-293.
- ROTH, D., SCHÜTT, B. & R. BAUMHAUER [Hrsg.] (2001): Los Vélez. Ein landeskundlicher Reiseführer für eine Region in Südost-Spanien. *Trierer Geographische Studien* **24**. 196 Seiten.
- ROTHER, K. (1993): Der Mittelmeerraum. Ein geographischer Überblick. Stuttgart: Teubner. 212 Seiten.
- RUIZ-FLAÑO, P., GARCÍA-RUIZ, J. M. & L. ORTIGOSA (1992): Geomorphological evolution of abandoned fields. A case study in the Central Pyrenees. *Catena* **19** (3-4): 301-308.
- SAUER, T. (2002): Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt auf Brachflächen in Aragón/Spanien. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Frankfurt am Main.
- SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage. Heidelberg u.a.: Spektrum Akademischer Verlag. 593 Seiten.
- SCHROEDER, F.-G. (1998): Lehrbuch der Pflanzengeographie. Wiesbaden: Quelle & Meyer. 457 Seiten.
- SCHÜTT, B. (2001): Der Naturraum der Region Los Vélez und angrenzender Gebiete. – In: ROTH, D., SCHÜTT, B. & R. BAUMHAUER [Hrsg.]: Los Vélez. Ein landeskundlicher Reiseführer für eine Region in Südost-Spanien. Seite 13-34.
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W. & M. KAINZ (1987): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Stuttgart: Ulmer. 64 Seiten.
- SEEGER, M. & C. FREVEL (1999): Untersuchungen zu Böden und Bodenwasserhaushalt in den EPRODESERT-Testgebieten – Bodenerosion und Wasserdefizit als steuernde Größen der

- Vegetationssukzession. – In: RIES, J. B. [Hrsg.]: EPRODESERT – Bodenwasserhaushalt und aktuelle Geomorphodynamik auf Brachflächen in Aragón/Spanien. Seite 5-30.
- SEEGER, M. (2007): Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena* **71** (1): 56-67.
- SOLÉ-BENET, A., CALVO, A. CERDÀ, A., LÁRARO, R., PINI, R. & J. BARBERO (1997): Influences of microrelief patterns and plant cover on runoff related processes in badlands from Tabernas (SE Spain). *Catena* **31** (1-2): 23-38.
- SORIANO, M. A. (1989): Infilled valleys in the central Ebro Basin (Spain). *Catena* **16** (4-5): 357-367.
- STÄBLEIN, G. [Hrsg.] (1978): Geomorphologische Detailaufnahme. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm I. *Berliner Geographische Abhandlungen* **30**. 95 Seiten.
- THORNES, J. B. [Hrsg.] (1990): Vegetation and Erosion. Processes and Environments. Chichester u.a.: Wiley. 518 Seiten.
- TRIMBLE, S. W. (1990): Geomorphic effects of vegetation cover and management: Some time and space considerations in prediction of erosion and sediment yield. – In: THORNES, J. B. [Hrsg.]: Vegetation and Erosion. Processes and Environments. Seite 55-65.
- USDA (United States Department of Agriculture) (1996): Soil survey laboratory methods manual. *Soil Survey Laboratory Investigations Report* **42**. URL: ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Lab_Methods_Manual/ssir42.pdf. Zuletzt geprüft am 02.11.2007.
- VALENTIN, C., POESEN, J. & Y. LI (2005): Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena* **63** (2-3): 132-153.
- VANDEKERCKHOVE, L., POESEN, J., OOSTWOUW WIJDENES, D., GYSSELS, G., BEUSELINCK, L. & E DE LUNA (2000): Characteristics and controlling factors of bank gullies in two semi-arid mediterranean environments. *Geomorphology* **33** (1-2): 37-58.
- WAGNER, H.-G. (2001): Der Mittelmeerraum. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft. 381 Seiten.
- WAINWRIGHT, J. & J. B. THORNES (2004): Environmental issues in the Mediterranean. Processes and perspectives from the past and present. London u.a.: Routledge. 479 Seiten.
- WISTDORF, S. (2007): Niederschlagssimulationen zur Erfassung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag – Methoden zur Bestimmung des Tropfenspektrums der mobilen Kleinbergungsanlage. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Trier.
- WOO, M., GUOXIANG, F. & P. D. DICENZO (1997): The role of vegetation in the retardation of rill erosion. *Catena* **29** (2): 145-159.

Karten im Internet

Cartomur.com: <http://www.cartomur.com/carto/SgdNavigator/SgdNavigator.dll>. Zuletzt geprüft am 02.11.2007.

Ortofoto Digital de Andalucía: <http://desdeelcielo.andaluciajunta.es>. Zuletzt geprüft am 02.11.2007.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Arbeit selbständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Frankfurt am Main, 02.11.2007

Christian Geißler